A Review of Using Green Industrial Internet of Things in Sustainable Development and Energy Management: A Bibliometrics Analysis

Zahra Sadeqi-Arani [*1], Esmaeil Mazroui Nasrabadi [2], Reza Vahidnia[3]

[1]*Assistant Professor, Department of Business Administration, Faculty of financial science, Management and Entrepreneurship, University of Kashan, Kashan, Iran, Sadeqiarani@kashanu.ac.ir*

[2]*Assistant Professor, Department of Business Administration, Faculty of financial science, Management and Entrepreneurship, University of Kashan, Kashan, Iran, drmazroui@kashanu.ac.ir*

[3]*Assistant Professor, Faculty of Electrical Engineering, British Columbia Institute of Technology, Vancouver, Canada, Rvahidnia@bcit.ca*

مقاله ترجمه آماده

Extended Abstract

Introduction: Over the last decade, energy consumption has surged to alarming levels, fueled by the expansive digital landscape, increasing subscriber base, and the proliferation of devices. Projections indicated that the number of connected devices could soar to 100 billion by 2030. This growth in connected devices and the advancement of Internet of Things technology have led to a paradoxical situation where, despite improvements in energy efficiency, the overall energy consumption has escalated due to the sheer volume of these devices. This situation has not only led to rising energy costs but also posted significant environmental challenges. In response, the concept of a sustainable and green industrial Internet of Things (G-IIoT) has emerged. This paradigm is dedicated to reducing environmental impacts and fostering sustainable industrial development by enhancing energy management. The G-IIoT focuses on various aspects, from manufacturing and consumption to planning, and extends to recycling and disposal, all of which significantly affect the environment. This research aims to bridge the gap in the literature by providing a comprehensive framework for studying sustainable and green industrial IoT, an area that has seen increasing interest and adoption but lacks a cohesive analytical framework. By employing bibliometric analysis—a widely used method in engineering research for evaluating the impact of previous studies and suggesting future directions—the study seeks to guide researchers and enhance the understanding of this critical topic.

Methodology: This study conducted a bibliometrics analysis of researches related to G-IIoT have published in WOS and Scopus, during 2013 to 2024. Bibliometric analysis is a scientific discipline that employs statistical techniques to evaluate the advancement and growth of knowledge within a particular subject area, as well as to assess the academic quality and impact of various studies and sources. Based on the inclusion criteria, a total of 416 articles were retrieved from WOS (n=342) and Scopus (n=425). Then, 300 duplicate articles were excluded, resulting in 467 scientific distinct documents related to the field of G-IIoT.

Findings: The analysis demonstrates a significant annual growth rate of 63.68% in research interest up to the end of 2023, highlighting the expanding engagement of scholars in the G-IIoT. China has notably positioned itself as a pivotal contributor to this domain, with a total of 117 publications, 53 of which feature international collaborations, underscoring its global research leadership. Our study identifies the evolution of key themes within green industrial Internet of Things (G-IIoT) research across three distinct periods: the initial eight years (2013-2020), followed by a two-year span (2021-2022), and the most recent 13 months (2023-2024). Throughout these intervals, persistent themes have included the IoT, industrial IoT, Industry 4.0, energy efficiency, sustainability, wireless sensor networks, and big data. A notable development was the rise of artificial intelligence in the second phase, while Industry 5.0 emerged as a significant concept in the latest timeframe. Through keyword co-occurrence analysis (Fig. 1), two primary research clusters were identified within the G-IIoT field. The first cluster encompasses discussions on IoT and its associated advancements, such as Industry 4.0 and 5.0, artificial intelligence,

and sustainability. The second cluster focuses on into the specifics of energy management and efficiency within the industrial IoT framework.

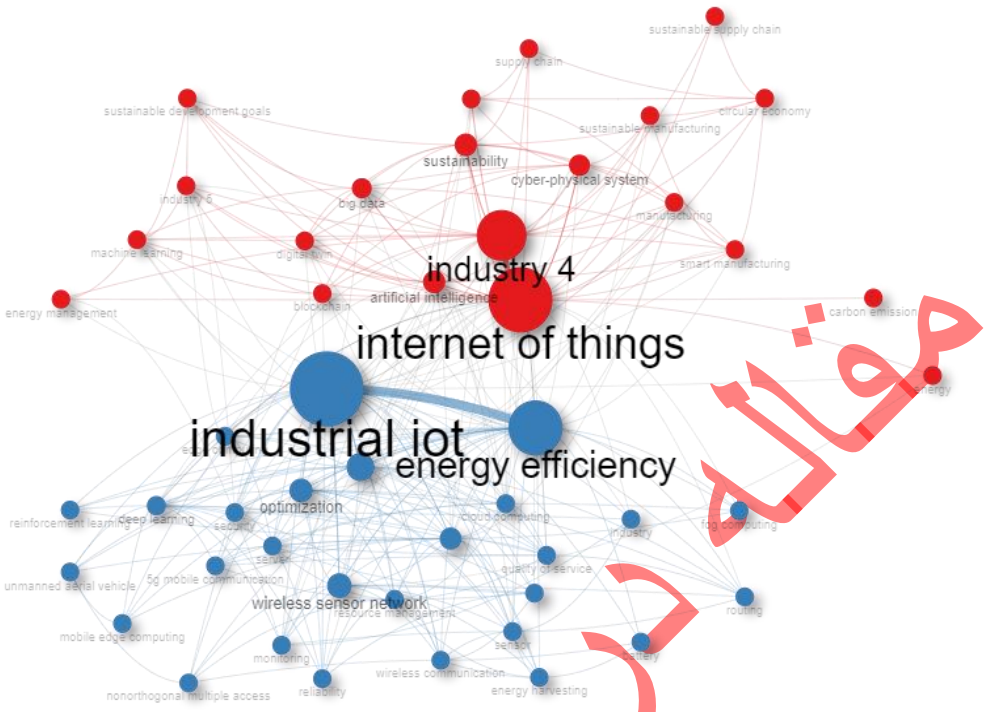


Figure (1): Keyword co-occurrence network

According to fig. 1, research topics in the domain of G-IIoT have been organized into three primary categories as follows:

Key Concepts and Themes: This category encompasses the foundational and emerging themes within green industrial IoT research. It includes a broad range of topics such as the Internet of Things, Industry 4.0 and Industry 5.0, smart production, big data, sustainability and sustainable development, circular economy, sustainable production practices, the Sustainable Development Goals, digital twins, energy management, sustainable supply chains, carbon emissions, energy usage, industrial IoT, energy efficiency and consumption, task and resource management, security, quality of service (QoS), monitoring, protocols, energy harvesting, reliability, 5G mobile communication, and routing.

Hardware (Key Tools and Devices): This category highlights the hardware components critical to energy management and efficiency in the field of G-IIoT. Key hardware elements include cyber-physical systems, wireless sensor networks, sensors, wireless communication technologies, servers, unmanned aerial vehicles, and batteries.

Software (Computing Technologies): In the realm of G-IIoT, focus on the software and computing technologies that underpin both the industry 4.0 and 5.0. Notable technologies in this category include artificial intelligence, machine learning, blockchain, optimization algorithms, deep learning, cloud computing, edge computing, non-orthogonal multiple access, mobile edge computing, reinforcement learning, and fog computing.

These categories collectively provide a comprehensive overview of the current research landscape and technological advancements in the green industrial Internet of Things.

Discussion and Conclusion: Energy efficiency is a growing concern in every aspect of the technology. Apart from maintaining profitability, energy efficiency means a decrease in the overall environmental effects, which is a serious concern in today's world. This study not only identifies leading researchers, journals, and countries in the field but also uncovers patterns of intra- and inter-disciplinary collaboration, thereby facilitating the development of research collaborations both nationally and internationally. By systematically identifying relevant literature, understanding the scope of research, and highlighting gaps in the existing body of knowledge, this study serves as a valuable resource for

researchers undertaking review studies like meta-synthesis and meta-analysis in the GI-IoT domain. Additionally, the findings can assist science and technology policymakers in formulating research strategies and funding decisions to ensure effective allocation of financial resources to high-impact or strategically important areas.

Keywords: Green Internet Of Industrial Things, Energy Management, Energy Efficiency, Sustainable Development, Bibliometric Analysis.

مقاله در حال انتشار

مروری بر کاربرد اینترنتِ اشیاءِ صنعتیِ سبز در توسعه پایدار و مدیریت انرژی: رویکرد کتاب‌شناختی

زهرا صادقی آرانی*[۱]، اسماعیل مزروعی نصرآبادی[۲]، رضا وحیدنیا[۳]

[۱]استادیار، گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده علوم مالی، مدیریت و کارآفرینی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، sadeqiarani@kahanu.ac.ir

[۲]استادیار، گروه مدیریت کسب‌وکار، دانشکده علوم مالی، مدیریت و کارآفرینی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، drmazroui@kashanu.ac.ir

[۳] استادیار دانشکده برق موسسه فن‌آوری بریتیش کلمبیا، ونکوور، کانادا، Rvahidnia@bcit.ca

چکیده: امروزه با گسترشِ به کارگیری اینترنتِ اشیاء صنعتی و افزایش تعداد دستگاه‌های متصل، مصرف انرژی افزایش یافته است. این رویداد، علاوه بر ایجاد هزینه‌های ناشی از افزایش مصرف انرژی، چالش‌های زیست‌محیطی بسیاری را نیز به دنبال داشته است. ازاین‌رو، از منظر توسعه‌ی پایدار، پارادایم اینترنت اشیاء صنعتیِ سبز مطرح شد. هدف مطالعه حاضر ارائه یک تحلیل کتاب‌شناختی از پژوهش‌های مربوط به اینترنت اشیاء صنعتی سبزِ منتشر شده در دو پایگاه اطلاعاتی WOS و Scopus در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۱۳ است. در مجموع ۴۶۷ مقاله‌ی پژوهشی در حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز از این دو پایگاه بازیابی شد. روند رشد سالانه پژوهش‌های این حوزه تا پایان سال ۲۰۲۳ برابر ۶۳.۶۸ درصد بوده که حاکی از استقبال فزاینده پژوهشگران از این موضوع است. دسته‌بندی کلمات کلیدی پرتکرار، حاکی از سه مقوله کلیدی در این حوزه است که عبارت‌اند از: ۱) مضامین کلیدی (شامل مفاهیمی مانند اینترنت اشیاء صنعتی سبز، پایداری، کارایی انرژی، صنعت نسل ۴ و ۵، کلان‌داده‌ها)، ۲) سخت‌افزارها (شامل ابزارها و دستگاه‌های کلیدی اینترنت اشیاء مانند سیستم فیزیکی سایبری، شبکه حسگر بی‌سیم، سنسورها، ارتباطات بی‌سیم، سرورها، وسایل نقلیه‌ی هوایی بدون سرنشین و باتری‌ها) و ۳) نرم‌افزارها (شامل فناوری‌های محاسباتی مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، بلاک‌چین، بهینه‌سازی، یادگیری عمیق، پردازش ابری، رایانش لبه‌ای، دسترسی چندگانه غیر متعامد، رایانش لبه‌ای موبایل، یادگیری تقویتی، رایانش مِه) قابل توجه است. این تحقیق علاوه بر شناسایی تحقیقات، مجلات و کشورهای تأثیرگذار در این حوزه، برای محققینی که قصد انجام مطالعات مروری، مانند فراترکیب و فراتحلیل در حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز را دارند، درک جامعی از دانش موجود در این زمینه و شکاف‌های تحقیقاتی ارائه می‌دهد. همچنین، به سیاست‌گذاران علم و فناوری در تدوین راهبردهای تحقیقاتی و تصمیمات تأمین مالی در این حوزه کمک کند.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیاء صنعتی سبز، مدیریت انرژی، کارایی انرژی، توسعه پایدار، تحلیل کتاب‌شناختی.

مقاله در حال انتشار

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، اینترنت اشیاء[۱] (IoT) به‌عنوان یکی از فناوری‌های مؤثر و جذاب، مورد توجه صنایع و بخش‌های مختلف قرار گرفته است (بییر[۲] و همکاران، ۲۰۱۸: ۱). اصطلاح «اینترنت اشیاء» که برای اولین بار توسط کوین اشتون[۳] در سال ۱۹۹۸ ارائه شد (آلبریم[۴] و همکاران، ۲۰۱۷: ۲). اینترنت اشیاء به معنی شبکه یکپارچه از هر کسی یا هرچیزی است که در هرزمان و هرمکان با یکدیگر متصل شده و ارتباط دارند و در یک محیط هوشمند تلاش می‌کنند تا اطلاعات پیشرفته و هوشمندی را ایجاد کنند (الهی[۵] و همکاران،۲۰۲۳: ۲). در این شبکه حسگرها و دستگاه‌ها، انواع داده‌های مربوط به هدف را استخراج ، جمع‌آوری و پردازش می‌کند و براساس این اطلاعات پردازش شده به‌عنوان ابزارهایی برای تصمیم‌گیری‌های هوشمند استفاده می‌شود (گولاتی[۶] و همکاران، ۲۰۲۲: ۱۶۳). به طور کلی، فناوری اینترنت اشیاء شامل چهار عنصر اصلی اینترنت، سخت‌افزار (مانند حسگرها، برچسب‌ها و ...)، میان‌افزار (برای ذخیره‌سازی داده‌ها و محاسبات) و ارائه (برای درک ابزارهای مصورّسازی ، تفسیر برای پلتفرم‌ها و برنامه‌های مختلف) است (الخطیب[۷]، ۲۰۲۳: ۴).

صنعت و محیط‌های تولیدی یکی از کلیدی‌ترین بخش‌هایی است که از اینترنت اشیاء بسیار بهره‌مند شده است (سریور[۸] و همکاران، ۲۰۲۰: ۲۹۸۶). اینترنت اشیاء در بخش صنعت به اینترنت اشیاءِ صنعتی[۹] معروف است (مالیک[۱۰] و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۲۶) و شامل طیف گسترده‌ای از ماشین‌ها، اشیاء، افراد، حسگرها، سیستم‌های کنترل و سیستم‌های فیزیکی سایبری[۱۱] (CPS) در صنعت می‌شوند که باعث افزایش هوشمندی تولید و کسب وکار (کباند[۱۲]، ۲۰۲۲: ۳)، استفاده کارآمد از منابع مختلف و افزایش بهره‌وری تولید می‌گردد (داخنوویچ[۱۳] و همکاران، ۲۰۲۱: ۹۵۷). از این فناوری در سرتاسر فرایندِ زنجیره تأمین شامل تأمین، کنترل موجودی، تولید، ساخت و عرضه، در صنایع مختلف استفاده می‌شود (هی[۱۴] و همکاران، ۲۰۲۰؛ رجب[۱۵] و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژانگ[۱۶] و همکاران، ۲۰۲۳).

تحقیقات و سیاست‌های مربوط به اینترنت اشیاءِ صنعتی تاکنون عمدتاً بر مزایای اقتصادی و همچنین بر جنبه‌های فنی مانند یافتن راه‌حل‌هایی برای استانداردسازی یا امنیت داده‌ها متمرکز بوده است (بییر و همکاران، ۲۰۱۸: ۱). همزمان با افزایش به‌کارگیری ابزارهای اینترنت اشیاء در جهان و افزایش کاربران آن، سطوح مصرف انرژی و به تبع آن تولید و انتشار گازهای گلخانه افزایش یافته است (آلبریم و همکاران، ۲۰۲۱: ۳۸۸۳۳). تعداد دستگاه‌های متصل تا سال ۲۰۲۰ نزدیک به ۵۰ میلیارد دستگاه بوده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ به ۱۰۰ میلیارد افزایش یابد (آلبریم و همکاران، ۲۰۱۷: ۱). از این رو، نگرانی‌های زیست‌محیطی و بهداشتی ناشی ازگسترش استفاده از اینترنت اشیاء صنعتی، لزوم توجه به فناوری‌های تجدیدپذیر و سبز را در توسعه ابزار آن دو چندان می‌کند. سیاست‌های توسعه پایدار جهانی برای سال‌های آینده با تأکید بر «مفهوم اقتصاد سبز» و «اهداف توسعه پایدار» در حال گسترش است (منتز[۱۷]، ۲۰۲۳: ۲). در سال ۲۰۱۲، کنفرانس توسعه پایدار سازمان ملل متحد در مورد سیاست‌های حمایت از اقتصاد سبز که به اختصار به عنوان یک اقتصاد

---

1. Internet of Things
2. Beier
3. Kevin Ashton
4. Albreem
5. Alahi
6. Gulati
7. Al-Khatib
8. Serror
9. Industrial Internet of Things
10. Malik
11. Cyber-Physical Systems
12. Kebande
13. Dakhnovich
14. He
15. Rejeb
16. Zhang
17. Mentes

مقاله در حال انتشار

کم کربن و کارآمد از منابع تعریف می‌شود، ۱۷ هدف توسعه پایدار[1] (SDGs) را در دستور کار خود قرار می‌دهد. در بند ۹ این دستورکار به طور خاص «ساخت زیرساخت های انعطاف‌پذیر، ترویج صنعتی فراگیر و پایدار و تقویت نوآوری» و در بند ۱۲ «تضمین الگوی تولید و مصرف پایدار» مطرح می‌شود. کاهش انتشار کربن، آلودگی‌ها و ضایعات، همچنین افزایش بهره‌وری انرژی از طریق استفاده از منابع انرژی سبز و تجدیدپذیر، استفاده از مواد قابل بازیافت، طراحی سازگار با محیط‌زیست، استفاده از محصولات‌زیستی در ساخت اجزای اینترنت اشیاء، کاهش مصرف انرژی تأسیسات، تحلیل و انتقال اطلاعات فقط در مواقع مورد نیاز، از اهداف به‌کارگیری اینترنت اشیاء صنعتی سبز است (آلبریم و همکاران، ۲۰۱۷: ۱؛ آلبریم و همکاران، ۲۰۲۱: ۲؛ تابا[2] و همکاران، ۲۰۲۰: ۴۳۱).

در سال‌های اخیر، از فناوری اینترنت اشیاء به منظور بهبود عملکرد واحدهای صنعتی و تولیدی به ویژه با تأکید بر پایداری و حفاظت از محیط زیست استفاده فراوان شده است. امروزه بسیاری از صنایع از جمله کشاورزی، جنگل‌داری، شیلات، آب، انرژی، صنعت، حمل‌ونقل، زباله، ساختمان‌ها و گردشگری تلاش می‌کنند تا از اصول و ابزارهای اینترنت اشیاء صنعتی سبز در افزایش عملکرد پایدار خود بهره‌مند شوند (آلبریم و همکاران، ۲۰۱۷: ۲؛ آلبریم و همکاران، ۲۰۲۱: ۲؛ تابا و همکاران، ۲۰۲۰: ۴۳۲؛ وانگ[3] و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۹). با افزایش کاربردهای پروتکل‌های زیست‌محیطی و شاخص‌های پایداری، تحقیقات فراوانی نیز در این حوزه صورت گرفته است. از این رو، مرور کامل این حوزه‌ی تحقیقاتی مهم و ضروری به نظر می‌رسد.باوجود اینکه چند مقاله مروری در حوزه اینترنت اشیاء وجود دارد ولی هر کدام از آن‌ها به حوزه خاصی اشاره کرده‌اند و هنوز مطالعه مروری که به بررسی اینترنت اشیاء صنعتی سبز بپردازد مشاهده نشده است. پژوهش حاضر با به‌کارگیری مرور سیستماتیک و تحلیل کتاب‌شناختی[4] جامع تلاش می‌کند تا یک نمای کلی از روند انتشار، مقالات، نویسندگان، مجلات و کشورهای مؤثر و همچنین بررسی موضوعات پرتکرار در این حوزه طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ ارائه دهد. تحلیل کتاب‌شناختی با هدف گسترش بررسی‌های قبلی و ترسیم فرایند تکامل این حوزه انجام شده است. این تحلیل، به عنوان یک ابزار قدرتمند برای ارزیابی و درک چشم‌انداز تحقیقات علمی، حمایت از تصمیمات استراتژیک در مراکز تحقیقاتی مانند دانشگاه، سیاست‌گذاری، و مدیریت تحقیق و توسعه عمل می‌کند و می‌تواند نقشه راهی را برای محققان علاقه‌مند در این حوزه فراهم کند (صادقی–آرانی و کدخدایی[5]، ۲۰۲۳: ۲؛ صادقی آرانی و روزمند[6]، ۲۰۲۴: ۲۵۸).

بر این اساس پژوهش حاضر با هدف پاسخ دادن به سه سؤال پژوهشی انجام می‌شود:

۱. روند انتشار علمی در استفاده از اینترنت اشیاء صنعتی سبز چگونه است؟
۲. مؤثرترین مقالات، مجلات، نویسندگان و کشورها در پژوهش‌های حوزه‌ی استفاده از اینترنت اشیاء صنعتی سبز کدامند؟
۳. ساختارهای مفهومی و موضوعات کلیدی و نوظهور در پژوهش‌های حوزه‌ی استفاده از اینترنت اشیاء صنعتی سبز چگونه است؟

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف مرور سیستماتیک پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز و تحلیل روندهای تحقیقات فعلی و کشف موضوعات تحقیقاتی نوظهور آتی با استفاده از تحلیل کتاب‌شناختی انجام شده است. گام‌های روش کتاب‌شناختی

[1]. Sustainable Development Goals
[2] . Tabaa
[3] . Wang
[4]. Bibliometrics Analysis
[5]. Sadeqi-Arani & Kadkhodaie
[6] . Arani & Kadkhodaie

به صورت زیر است (دونتو[1] و همکاران، ۲۰۲۱؛ جیانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۹؛ مارکال[3] و همکاران، ۲۰۲۱؛ نیو[4] و همکاران، ۲۰۲۱).

۱. تعریف اهداف و سؤالات پژوهشی

۲. جمع‌آوری داده‌ها: در مرحله انتخاب منابع از دو پایگاه اصلی معتبر نمایه‌سازی انتشارات علمی شامل پایگاه شبکه علم[5] (WOS) و اسکوپوس[6] استفاده شده است. در این پژوهش به منظور شناسایی همه انتشارات مرتبط با این زمینه، یک رشته جستجو بر اساس ارزیابی اولیه ادبیات تحقیق قبلی و نظر خبرگان دانشگاهی ایجاد شد. از این رو، ترکیبی مناسب از کلیدواژه‌های مناسب (پیوست) برای جستجوی علمی در عنوان، چکیده و کلمات کلیدی نویسنده و با استفاده از عملگرهای شرطی OR و AND ایجاد شد. در مرحله اول، به ترتیب ۳۴۲ و ۴۲۵ مقاله نمایه شده در WOS و Scopus در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۳ تا پایان ژوئن ۲۰۲۴ به زبان انگلیسی شناسایی شد. در ادامه، اطلاعات دو پایگاه ادغام شده و پس از حذف موارد تکراری (۳۰۰ سند تکراری) ۴۶۷ مقاله متمایز شناسایی و مورد تحلیل قرار گرفت.

۳. پیش‌پردازش پاکسازی و آماده‌سازی داده‌ها

۴. تحلیل و مصورسازی[7] داده‌ها: یافته‌های این پژوهش در دو بخش ارائه می‌شود. در بخش اول، یک ارزیابی عملکرد[8] از توزیع مطالعات منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ و بر اساس معیارهای مؤثرترین نویسندگان، مجلات، مقالات و کشورها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش دوم شبکه‌های از هم‌نویسندگی، مشارکت‌های بین‌المللی و نقشه درختی[9] (فراوانی)، روند تکاملی مضامین، ابرِ واژگانی[10] کلمات کلیدی و هم‌رخدادی واژگان کلیدی[11] و روندهای تکاملی این مضامین ارائه می‌شود. به منظور تحلیل و مصورسازی داده‌های از بسته نرم‌افزاری Bibliometrix استفاده شده است.

۵- تفسیر و گزارش دهی: در این مرحله نتایج به همراه جزئیات روش‌شناختی و تفاسیر گزارش شده و جهت‌گیری‌های بالقوه برای تحقیقات آینده ارائه می‌شود.

۳. یافته‌های تحقیق

یافته‌های این پژوهش در دو بخش ارائه می‌شود. در بخش اول، یک ارزیابی عملکرد از توزیع مطالعات منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ و بر اساس معیارهای مؤثرترین نویسندگان، مجلات، مقالات و کشورها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش دوم شبکه‌های از هم‌نویسندگی، مشارکت‌های بین المللی و هم‌رخدادی واژگان کلیدی و روندهای تکاملی این مضامین ارائه می‌شود.

۱.۳ ارزیابی عملکرد

به منظور پاسخگویی به سؤال پژوهشی ۱ از آمار توصیفی استفاده شده است. خلاصه آماری و روند انتشار علمی پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز در جدول (۱)گزارش شده است.

مقاله در حال انتشار

---

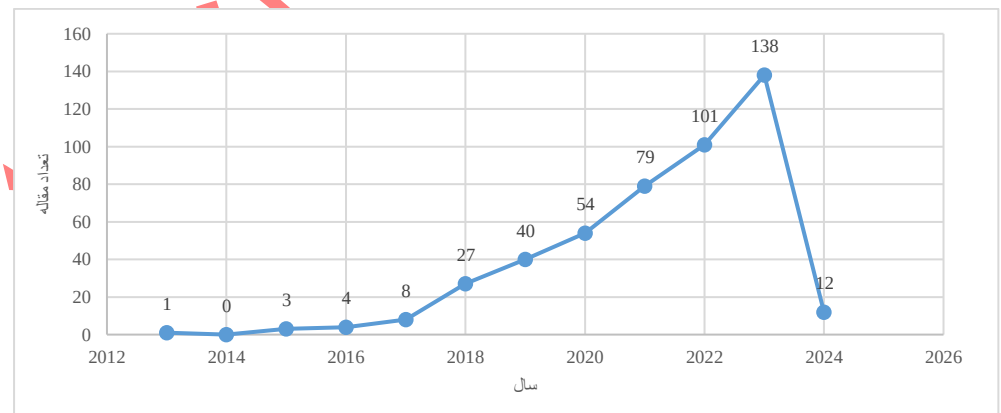
1 . Donthu
2 . Jiang
3 . Marcal
4 . Niu
5. Web of Science
6. Scopus
7 . Visualization
8. Performance Analysis
9. Tree Map
10. Keyword Cloud
11. Co-Occurrence Words

جدول (۱) : خلاصه آماری

توضیحات	یافته‌ها
بازه زمانی	۲۰۱۳-۲۰۲۴
تعداد منابع	۲۰۴
تعداد مقالات	۴۶۷
درصد رشد سالانه	۲۵/۳
میانگین استناد (سایتیشن) هر مقاله	۲۷/۸۳
تعداد نویسندگان	۱۵۷۵
نویسندگان مشترک در هر سند	۴/۱۶
درصد مشارکت بین المللی	۳۴/۰۵

مجموع اسناد علمی-پژوهشی معتبر (مقالات ژورنالی) در حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز که از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ به زبان انگلیسی در WOS و Scopus منتشر شده است ۴۶۷ مورد است. این اسناد به طور متوسط ۲۷.۸۳ استناد دریافت کرده‌اند. میانگین بالای تعداد استنادها در هر سند نشان می‌دهد که تحقیقات علمی در این حوزه به سرعت در حال گسترش است.

همچنین نتایج نشان داد که ۱۵۷۵ نویسنده منحصربه‌فرد در این حوزه مشارکت داشته‌اند که متوسط تعداد نویسندگان هر مقاله ۴.۱۴ نفر بوده است. تألیف مشترک بین‌المللی در این زمینه ۳۴.۰۵ می باشد. همکاری بین دو یا چند نویسنده از کشورهای مختلف برای تکمیل یک مقاله علمی به عنوان تألیف مشترک بین‌المللی شناخته می‌شود. این شاخص نشان می‌دهد که تمایل به مشارکت بین‌المللی برای انتشار مقاله در این حوزه بالاست. همچنین، روند انتشار سالانه انتشار علمی پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ در شکل ۱ نشان داده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که نرخ رشد سالانه این پژوهش‌ها تا پایان ژوئن سال ۲۰۲۴ برابر ۲۵.۳۰ درصد و تا پایان سال ۲۰۲۳ برابر ۶۳.۶۸ درصد است که نشان دهنده افزایش اسناد علمی در این زمینه در طول زمان است.



شکل (۱) : روند تولید سالانه علمی پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز (۲۰۱۳-۲۰۲۴)

برای پاسخ به سؤال پژوهشی ۲ و شناسایی اثرگذارترین مقالات، مجلات و کشورها در پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز، توزیع فراوانی آن‌ها طی دوره زمانی مورد بررسی استخراج شد. جداول (۲ تا ۵)عملکرد ۱۰ مورد تأثیرگذار در هر آیتم را نشان می‌دهد.

۲.۳ ارزیابی عملکرد مجلات

جدول (۲) مجلات برتر پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز را نشان می دهد. مقالات بازیابی شده در این مطالعه در ۶۱۳ مجله مجزا منتشر شده‌اند.

جدول (۲): مجلات اثرگذار

ردیف	عنوان نشریه	تعداد مقاله چاپ شده
۱	IEEE transactions on industrial informatics	۳۵
۲	Sustainability	۲۷
۳	IEEE access	۲۵
۴	IEEE internet of things journal	۲۴
۵	Journal of cleaner production	۱۳
۶	Journal of self-governance and management economics	۱۳
۷	Economics, management, and financial markets	۱۲
۸	IEEE transactions on green communications and networking	۱۱
۹	Sensors	۱۰
۱۰	IEEE sensors journal	۷

همانگونه که در جدول (۲) نشان داده شده است نشریات اصلی در انتشار مقالات این حوزه، نشریه « IEEE transactions on industrial informatics»، «Sustainability » و «IEEE access » هستند. به طور کلی ۴۰ درصد (۱۷۷ مقاله) از کل مقالات این حوزه در ۱۰ نشریه اول منتشر شده‌اند و این ۱۰ نشریه سهم قابل توجهی در کل انتشارات از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ دارد.

۳.۳ ارزیابی عملکرد مقاله‌ها

در علم کتاب‌شناختی عملکرد یک مقاله با تعداد استناد آن بررسی می‌شود. از این رو، در جدول (۳) ، فهرستی از ۱۰ مقاله با بیشترین استناد در بازه زمانی مورد بررسی ارائه شده است. تأثیرگذارترین « Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives» با تعداد کل استناد برابر ۷۷۳ و بیشترین میانگین استناد در سال برابر ۱۱۰.۴۳ است.

جدول (۳) : اثرگذارترین مقاله‌ها

ردیف	منبع	عنوان مقاله	تعداد کل استناد	میانگین استناد در سال
۱	(کامبل [1] و همکاران، ۲۰۱۸)	Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives	۷۷۳	۱۱۰/۴۳
۲	(دیویس [2] و همکاران، ۲۰۱۵)	Smart manufacturing	۶۲۹	۸۹/۸۶
۳	(ماناوالان و جایکریشنا [3]، ۲۰۱۹	A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements	۵۸۳	۹۷/۱۷
۴	(لوپس دی سوسا جابور [4] و همکاران، ۲۰۱۸)	Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations	۵۷۳	۸۱/۸۶

[1] . Kamble
[2] . Davis
[3] . Manavalan & Jayakrishna
[4] . Lopes de Sousa Jabbour

مقاله در حال انتشار

ردیف	منبع	عنوان مقاله	تعداد کل استناد	میانگین استناد در سال
۵	(کیل [۱] و همکاران، ۲۰۱۷)	Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0	۴۶۱	۵۷/۶۳
۶	(لی [۲] و همکاران، ۲۰۲۰)	The impact of digital technologies on economic and environmental performance in the context of industry 4.0: A moderated mediation model	۳۱۱	۶۲/۲۰
۷	(وانگ و همکاران، ۲۰۱۶)	Green industrial Internet of Things architecture: An energy-efficient perspective	۲۸۷	۳۱/۸۹
۸	(اسماعیلیان [۳] و همکاران، ۲۰۲۰)	Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0	۲۸۳	۵۶/۶۰
۹	(نگی [۴] و همکاران، ۲۰۱۸)	The role and impact of Industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain—the case of Hungary	۲۷۱	۳۸/۷۱
۱۰	(بنیلا [۵] و همکاران، ۲۰۱۸)	Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges	۲۶۹	۳۸/۴۳

از آنجایی که اینترنت اشیاء صنعتی یکی از شاخص‌های کلیدی صنعت نسل ۴ و تولید هوشمند است اغلبِ مقاله‌های مؤثر در این حوزه، اینترنت اشیاء صنعتی سبز را در زمینه و بافت صنعت نسل ۴ ، صنعت هوشمند و پایدار بررسی کرده است.

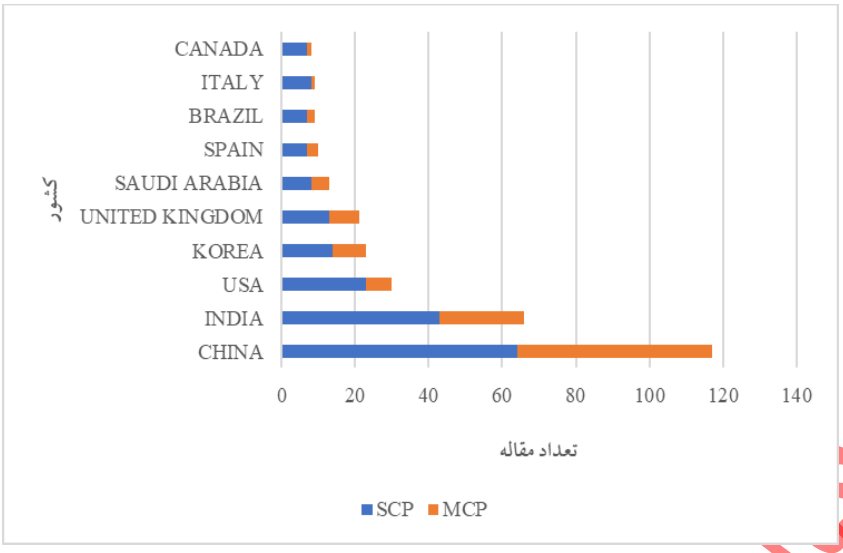
۴.۳ ارزیابی عملکرد کشورها و همکاری‌های بین المللی

شکل (۴) و جدول (۵) توزیع پژوهش‌های منتشر شده حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز بر اساس کشور و همکاری بین‌المللی بین کشورهای مختلف را نشان می‌دهد. بر این اساس، چین با انتشار ۱۷۷ سند، بیشترین تعداد نشریه در این زمینه را دارد و پس از آن هند با ۶۶ سند، آمریکا ۳۰ و کره جنوبی ۲۳ سند در رتبه‌های بعدی قرار دارند. به عبارت دیگر، این چهار کشور به تنهایی مولد بیش از نیمی از پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز هستند. علاوه بر این، چین و هند به ترتیب با ۵۳ و ۲۳ مقاله دارای بیشترین تعداد انتشارات چند-کشوری (MCP)[6] هستند. یعنی مقاله‌هایی که منتشر شده دارای حداقل یک نویسنده از سایر کشورها بوده و حاکی از همکاری بین‌المللی است (شکل ۲).

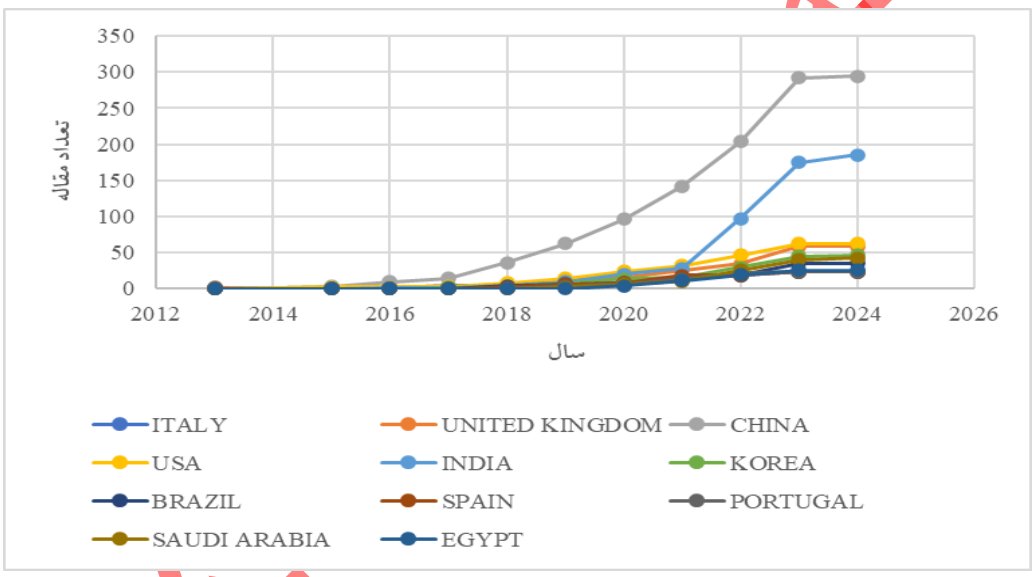
جدول (۴) : مولدترین کشورها

ردیف	کشور	تعداد کل مقاله	انتشار یک کشوری (**SCP**)	تعداد مقالات به صورت انتشار چندکشوری (**MCP**)
۱	CHINA	۱۱۷	۶۴	۵۳
۲	INDIA	۶۶	۴۳	۲۳
۳	USA	۳۰	۲۳	۷
۴	KOREA	۲۳	۱۴	۹
۵	UNITED KINGDOM	۲۱	۱۳	۸
۶	SAUDI ARABIA	۱۳	۸	۵
۷	SPAIN	۱۰	۷	۳
۸	BRAZIL	۹	۷	۲
۹	ITALY	۹	۸	۱
۱۰	CANADA	۸	۷	۱

[1] . Kiel
[2]. Li
[3]. Esmaeilian
[4]. Nagy
[5]. Bonilla
[6]. Multiple-Country Publications (MCP)



شکل (۲): مولدترین کشورها و همکاری کشور



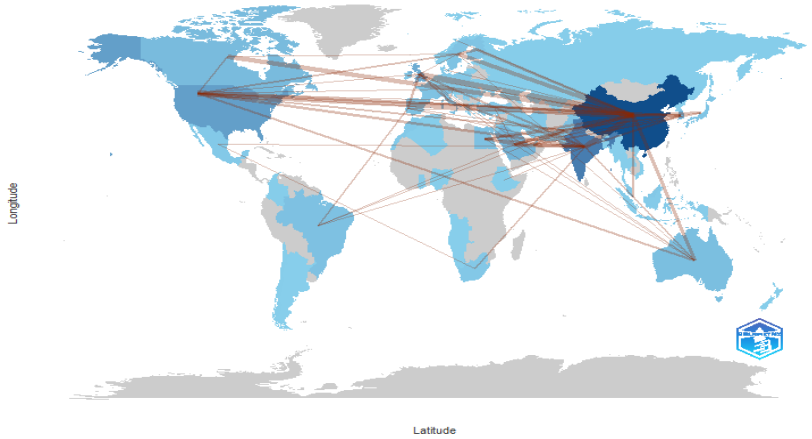
شکل (۳): روند تکاملی انتشار تولیدات علمی بر حسب کشور

روند تکاملی انتشار تولیدات علمی در حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز بر اساس کشورهای مشارکت‌کننده در این حوزه در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج این شکل حاکی از آن است که چین (نمودار نارنجی) در تمامی بازه زمانی به طور قابل توجهی از سایر کشورها در این حوزه پیش‌تاز بوده و با گذرِ زمان این فاصله را نیز افزایش داده است. نکته قابل توجه پیش‌تازی کشور هند (نمودار سبز) و تمایل نویسندگان هندی به انتشار پژوهش در حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز است که اگر چه تا سال ۲۰۲۱ تولیدات قابل توجهی نداشته‌اند اما بعداز آن رشد چشم‌گیر و قابل توجهی پیدا کرده است.

در شکل (۴)، نقشه همکاری کشورها و مسیر همکاری آن‌ها در موضوع انتشار پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز نشان داده شده است. شدت رنگ نشان دهنده فراوانی انتشارات و ضخامت لینک‌ها، حاکی از تعداد همکاری است.

جدول (۵): نقشه همکاری کشورها در انتشار پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز

ردیف	از کشور	با کشور	تعداد مقالات منتشر شده
۱	CHINA	USA	۱۸
۲	CHINA	UNITED KINGDOM	۱۶
۳	CHINA	INDIA	۱۳
۴	CHINA	CANADA	۱۰
۵	INDIA	SAUDI ARABIA	۸
۶	CHINA	SWEDEN	۷
۷	CHINA	AUSTRALIA	۶
۸	CHINA	FINLAND	۶
۹	FINLAND	SWEDEN	۶
	CHINA	USA	۱۸



شکل (۴): نقشه همکاری کشور

یافته‌ها نشان می‌دهد که ایالات متحده آمریکا و چین با مشارکت در انتشار ۱۸ مقاله بیشترین همکاری را در انتشارات پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز داشته‌اند (شکل ۷).

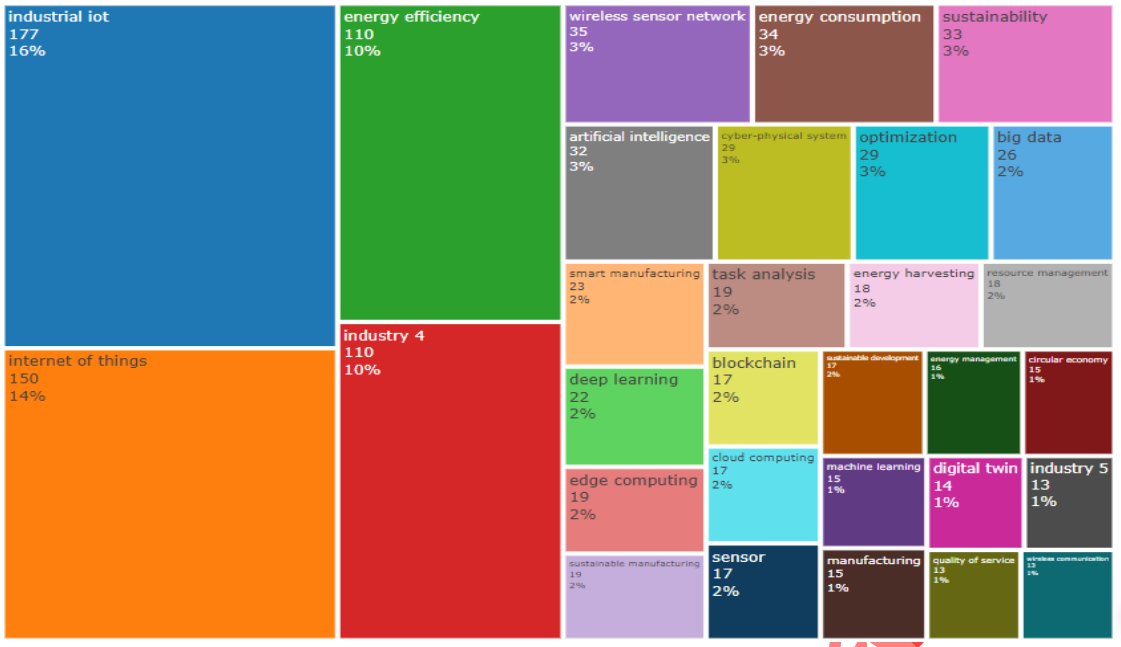
۲.۳ نقشه‌نگاری علمی[1]

برای شناسایی موضوعاتِ کلیدی پژوهشی در حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز، از تحلیل هم‌رخدادی واژگان کلیدی و مصوّرسازی ساختار مفهومی و شبکه‌ایی کلمات کلیدی پژوهش‌های این حوزه در بازه زمانی ۲۰۱۳–۲۰۲۴ استفاده شد. این تحلیل به پژوهشگران برای تعیین تعاملات بین موضوعات مورد تحقیق، موضوعات نوظهور و شناسایی موضوعات داغ و جالب مانند حوزه‌های تحقیق، توسعه و نوآوری‌های آتی کمک میکند. این نتایج شامل نقشه درختی (فراوانی)، روند تکاملی، اَبرِ واژگانیِ کلمات کلیدی و همچنین شبکه هم‌رخدادی آنها ترسیم شده است و در ادامه آمده است.

۱.۲.۳ فراوانی و تکامل کلمات

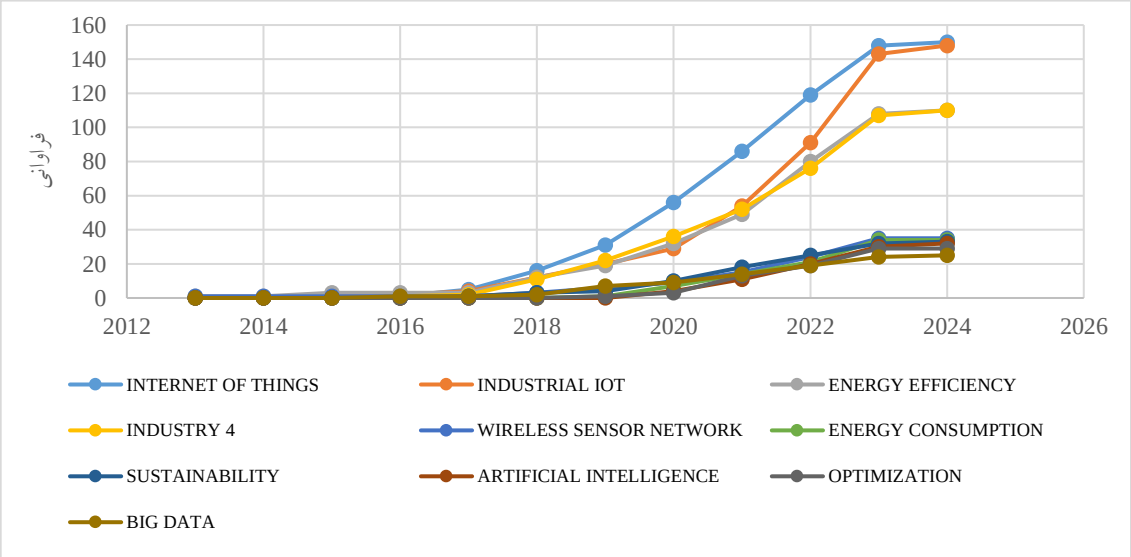
نقشه درختیِ کلمات متداول در پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز در شکل (۵) نشان داده شده است.

[1]. Science Mapping



شکل(۵): نقشه درختی کلمات (۲۰۲۴-۲۰۱۳)

همانطور که انتظار می‌رفت پرتکرارترین کلمات کلیدی شامل اینترنت اشیاء[۱]، اینترنت اشیاء صنعتی[۲]، صنعت نسل ۴[۳]، کارایی انرژی[۴] و شبکه‌های حسگر بی‌سیم[۵] است. روند تکاملی مضامین این حوزه نیز مؤید نقشه درختی مضامین است.



شکل (۶) : روند تکامل کلمات کلیدی

تکامل موضوع در طول زمان با تقسیم دوره به سه برش زمانی مختلف مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۶). با توجه به توزیع نشریات سه برش در کل دوره ایجاد شد: برش اول شامل ۸ سال (۲۰۲۰-۲۰۱۳)، برش بار دوم ۲ سال (۲۰۲۲-۲۰۲۱) و برش سوم ۱۴ ماهه (۲۰۲۴-۲۰۲۳).

---

1. Internet Of Things
2. Industrial IOT
3. Industry 4
4. Energy Efficiency
5. Wireless Sensor Networks

جدول (۶): وقوع و تکامل کلمات کلیدی

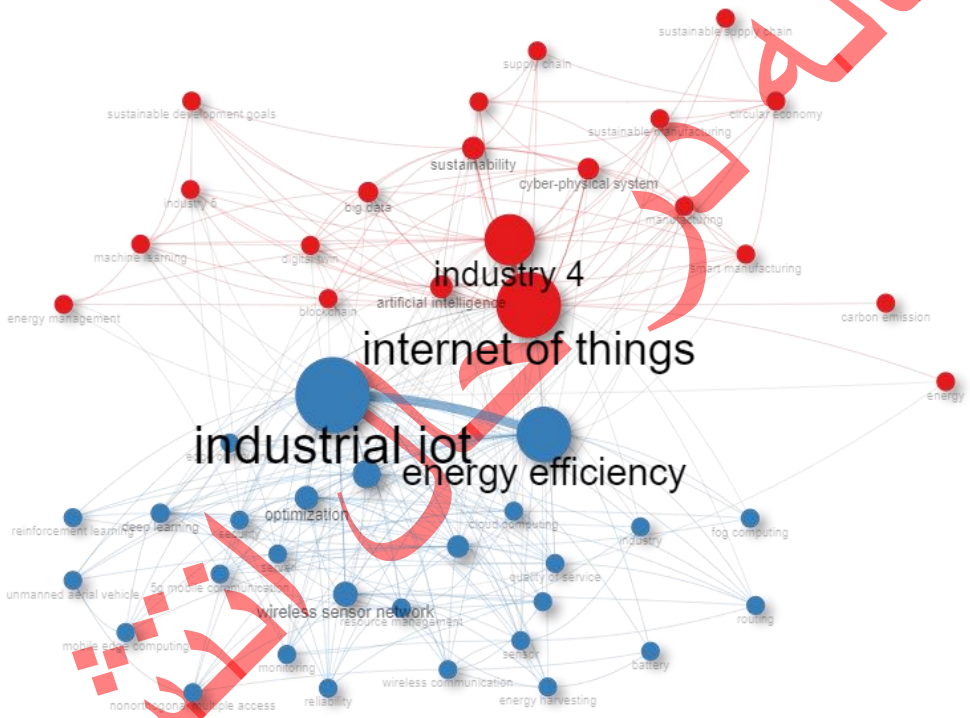
Time Slice	۲۰۱۳–۲۰۲۰		۲۰۲۱–۲۰۲۲		۲۰۲۳–۲۰۲۴	
	تعداد مقاله=۱۳۷ تعداد مجله= ۷۰ تعداد نویسنده=۴۴۷		تعداد مقاله=۱۸۰ تعداد مجله= ۱۰۲ تعداد نویسنده=۶۶۰		تعداد مقاله=۱۵۰ تعداد مجله= ۹۱ تعداد نویسنده=۶۰۳	
ردیف	کلمات کلیدی	فراوانی	کلمات کلیدی	فراوانی	کلمات کلیدی	فراوانی
۱	internet of things	۵۶	industrial iot	۷۲	industrial iot	۶۹
۲	industrial iot	۳۶	internet of things	۶۳	industry 4	۳۴
۳	industry 4	۳۶	energy efficiency	۴۸	internet of things	۳۱
۴	energy efficiency	۳۲	industry 4	۴۰	energy efficiency	۳۰
۵	cyber-physical system	۱۲	artificial intelligence	۱۶	energy consumption	۱۳
۶	smart manufacturing		optimization	۱۶	artificial intelligence	۱۲
۷	sustainability	۱۱	sustainability	۱۵	industry 5	۱۲
۸	big data	۱۰	wireless sensor network	۱۵	deep learning	۱۱
۹	wireless sensor network	۹	energy consumption	۱۴	wireless sensor network	۱۱
۱۰	manufacturing	۹	cyber-physical system	۱۲	optimization	۱۰
۱۱	energy consumption	۸	big data	۱۱	task analysis	۱۰
۱۲	sustainable manufacturing	۷	sensor	۱۱	machine learning	۹
۱۳	cloud computing	۶	resource management	۱۰	blockchain	۸
۱۴	edge computing	۵	energy harvesting	۹	energy harvesting	۸
۱۵	smart factory	۵	deep learning	۸	sustainability	۸
۱۶	sustainable development	۵	energy management	۸	edge computing	۷
۱۷	artificial intelligence	۵	smart manufacturing	۸	sustainable development	۷
۱۸	circular economy	۴	blockchain	۷	big data	۶
۱۹	quality of service	۴	digital twin	۷	cloud computing	۶
۲۰	real-time systems	۴	edge computing	۷	nonorthogonal multiple access	۶
۲۱	security	۴	sustainable manufacturing	۷	protocol	۶
۲۲	sustainable supply chain	۴	carbon emission	۶	sustainable development goals	۶
۲۳	5g mobile communication	۴	circular economy	۶	sustainable manufacturing	۶
۲۴	deep learning	۳	cloud computing	۶	wireless communication	۶
۲۵	energy management	۳	quality of service	۶	circular economy	۵
۲۶	optimization	۳	routing	۶	cyber-physical system	۵
۲۷	process safety	۳	task analysis	۶	digital twin	۵
۲۸	resource management	۳	battery	۵	energy management	۵
۲۹	scheduling	۳	machine learning	۵	reinforcement learning	۵
۳۰	smart grid	۳	mobile edge computing	۵	resource management	۵
ابر واژگانی						

مقاله در حال انتشار

همانطور که انتظار می‌رود، بیشترین واژه در هر سه بازه زمانی عبارتند از اینترنت اشیاء[1]، اینترنت اشیاء صنعتی[2]، صنعت نسل ۴[3] و کارایی انرژی[4] است. در بازه دوم مورد بررسی مفاهیمی مانند هوش مصنوعی نیز به مفاهیم پرتکرار اضافه شد. بازه سوم نیز با ظهور مفهوم صنعت نسل ۵ همراه بوده است.

۲.۲.۳ تحلیل هم‌رخدادی واژگان کلیدی

تحلیل هم رخدادی واژگان کلیدی به عنوان ساختار مفهومی و موضوعی یک حوزه علمی با تجزیه و تحلیل همزمانی دو اصطلاح تعریف می‌شود. وقوع همزمان را می‌توان با استفاده از مفاهیمی مانند اطلاعات متقابل یا همبستگی تعیین کرد. تحلیل هم‌واژگانی یا هم‌رخدادی واژگان بر اساس فراوانی است که در آن دو کلمه یا عبارت با هم اتفاق می افتد و برای شناسایی ارتباط بین موضوعات در یک زمینه تحقیقاتی و متعاقباً برای ردیابی توسعه علم استفاده می‌شود.



شکل (۷): شبکه هم رخدادی واژگان کلیدی

شبکه هم رخدادی ۵۰ واژگان کلیدی مهم پژوهش‌های حوزه‌ی اینترنت اشیاء صنعتی سبز در شکل (۷) نشان داده شده است. موضوعاتی که اغلب توسط محققان در این زمینه مورد مطالعه قرار می‌گیرند در ۲ خوشه تقسیم‌بندی شده‌اند. مساحت دایره نشان دهنده فراوانی وقوع هر کلمه کلیدی و ضخامت پیوندها تعداد دفعاتی است که چند مقاله به طور همزمان از دو کلمه استفاده کرده‌اند. مضامین هر خوشه، شاخص مرکزیت نزدیکی[5] و شاخص مرکزیت بینابینی[6] خوشه نیز در جدول (۷) ارائه شده است. مرکزیت بینابینی در چنین شبکه‌هایی تعداد دفعاتی است که یک گره (کلمه) به عنوان

---

1. Internet Of Things
2. Industrial IOT
3. Industry 4
4. Energy Efficiency
5. Closeness Centrality
6. Betweenness Centrality

پل در کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره (کلمه) دیگر عمل می‌کند. در شبکه‌های هم‌رخدادی واژگان کلیدی شامل مجموعه ارتباط کلمات با یکدیگر است که در آن گره‌ها واژگان کلیدی و یال‌ها تعداد دفعات هم‌رخدادی آن‌هاست. یک کلمه کلیدی با مرکزیت بینابینی بالا در این شبکه‌ها اغلب شامل مضامینی است که نقش مهم و محوری در پیوند موضوعات یا مضامین مختلف تحقیقاتی ایفا می‌کند و می‌تواند برای شناسایی حوزه‌های تحقیقاتی میان‌رشته‌ای[1] یا کشف مفاهیم نوظهور در این حوزه مفید باشد (صدیقی[2]، ۲۰۱۶: ۵۹). یک کلمه کلیدی با مرکزیت بینابینی بالا به عنوان یک پل یا رابط بین موضوعات یا حوزه‌های مختلف تحقیق عمل می کند. شاخص مرکزیت نزدیکی در شبکه‌های هم‌رخدادی کلمات کلیدی به میزان نزدیک بودن یک کلمه کلیدی به سایر کلمات کلیدی در شبکه، بر اساس کوتاه‌ترین مسیرهایی که آنها را به هم متصل می‌کند، اطلاق می‌شود. مقدار بالای این شاخص حاکی از آن است که یک کلمه کلیدی به طور متوسط به سایر کلمات در شبکه نزدیک‌تر است یا به عبارت دیگر، اتصالات مستقیم بیشتری به شبکه دارد. در تحلیل کتاب‌شناختی، یک کلمه کلیدی با مرکزیت نزدیکی بالا در ارتباط با طیف گسترده‌ای از مفاهیم دیگر قرار دارد و می‌تواند به‌عنوان یک مفهوم اصلی یا اساسی در یک حوزه تحقیقاتی به‌شمار رود. شناسایی کلمات کلیدی با مرکزیت نزدیک می‌تواند به محققان و مؤسسات کمک کند تا بر حوزه‌هایی تمرکز کنند که در گفتمان مرکزی هستند، به طور بالقوه جهت‌گیری‌های پژوهشی، همکاری‌ها و استراتژی‌های تأمین مالی را به سمت موضوعات مورد علاقه یا کاربردی هدایت می‌کنند.

جدول (۷): خوشه‌ها، مضامین، شاخص مرکزیت بینابینی، شاخص مرکزیت نزدیکی

خوشه	مضمون	شاخص مرکزیت نزدیکی	شاخص مرکزیت بینابینی	خوشه	مضمون	شاخص مرکزیت نزدیکی	شاخص مرکزیت بینابینی
خوشه دوم	industrial iot	۰/۰۱۸	۳۴۶/۳۴۲	خوشه اول	internet of things	۰/۰۱۷	۲۷۰/۱۱۳
	energy efficiency	۰/۰۱۷	۱۳۵/۹۶۹		industry 4	۰/۰۱۴	۷۸/۳۱۶
	energy consumption	۰/۰۱۴	۲۲/۱۰۷		artificial intelligence	۰/۰۱۲	۵/۱۱۷
	task analysis	۰/۰۱۴	۱۳/۷۵۰		sustainability	۰/۰۱۲	۴/۸۰۳
	wireless sensor network	۰/۰۱۳	۸/۲۵۲		industry 5	۰/۰۱۲	۲/۰۱۸
	optimization	۰/۰۱۳	۷/۷۱۲		cyber-physical system	۰/۰۱۲	۱/۸۳۲
	deep learning	۰/۰۱۳	۶/۱۰۸		machine learning	۰/۰۱۲	۱/۴۷۱
	cloud computing	۰/۰۱۳	۴/۸۰۶		big data	۰/۰۱۲	۱/۲۳۸
	resource management	۰/۰۱۲	۲/۸۶۹		smart manufacturing	۰/۰۱۲	۰/۹۰۲
	sensor	۰/۰۱۲	۲/۲۲۴		manufacturing	۰/۰۱۲	۰/۷۶۸
	wireless communication	۰/۰۱۱	۱/۵۰۴		sustainable development	۰/۰۱۱	۰/۶۸۵
	security	۰/۰۱۲	۱/۲۹۲		blockchain	۰/۰۱۲	۰/۶۷۴
	quality of service	۰/۰۱۲	۱/۰۹۲		circular economy	۰/۰۱۰	۰/۵۱۰
	monitoring	۰/۰۱۲	۰/۹۱۸		sustainable manufacturing	۰/۰۱۱	۰/۲۲۳
	edge computing	۰/۰۱۲	۰/۸۳۳		sustainable development goals	۰/۰۱۰	۰/۱۵۵
	server	۰/۰۱۱	۰/۵۴۶		digital twin	۰/۰۱۲	۰/۱۲۲
	industry	۰/۰۱۱	۰/۳۹۷		energy management	۰/۰۱۱	۰/۰۷۲
	protocol	۰/۰۱۱	۰/۳۸۲		sustainable supply chain	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰
	energy harvesting	۰/۰۱۱	۰/۲۵۱		supply chain	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰
	reliability	۰/۰۱۱	۰/۲۲۸		carbon emission	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰

[1]. Interdisciplinary Approach
[2] Sedighi

خوشه	مضمون	شاخص مرکزیت نزدیکی	شاخص مرکزیت بینابینی	خوشه	مضمون	شاخص مرکزیت نزدیکی	شاخص مرکزیت بینابینی
	unmanned aerial vehicle	۰/۰۱۱	۰/۲۲۷		energy	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰
	nonorthogonal multiple access	۰/۰۱۱	۰/۱۵۸				
	5g mobile communication	۰/۰۱۱	۰/۱۲۹				
	routing	۰/۰۱۱	۰/۰۴۱				
	mobile edge computing	۰/۰۱۰	۰/۰۲۴				
	battery	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰				
	reinforcement learning	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰				
	fog computing	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰				

اینترنت اشیاء، صنعت نسل ۴، هوش مصنوعی، پایداری، صنعت نسل ۵، سیستم فیزیکی سایبری، یادگیری ماشین، کلان‌داده‌ها در خوشه اول شبکه و اینترنت اشیاء صنعتی، بهره وری انرژی، مصرف انرژی، تجزیه و تحلیل وظیفه، شبکه حسگر بی‌سیم، بهینه سازی، یادگیری عمیق، پردازش ابری، مدیریت منابع، سنسور، ارتباطات بی سیم، امنیت و کیفیت خدمات در خوشه دوم شبکه مفاهیمی هستند که از مرکزیت بالایی بر خوردارند. به عبارت دیگر، مفاهیم کلیدی و اثرگذار در پژوهش‌های حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز شامل این موارد است.

از منظر دیگر این کلمات کلیدی را در سه دسته مفاهیم و مضامین کلیدی، سخت‌افزارها (ابزارهای و دستگاه‌های کلیدی) و نرم‌افزارها (فناوری‌های محاسباتی) می‌توان تقسیم‌بندی کرد:

مفاهیم و مضامین کلیدی: مفاهیم و مضامین کلیدی در پژوهش‌های حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز شامل اینترنت اشیاء، صنعت نسل ۴، تولید هوشمند، کلان‌داده‌ها، پایداری، صنعت نسل ۵، توسعه پایدار، اقتصاد چرخشی، تولید پایدار، اهداف توسعه پایدار، دوقلوهای دیجیتال، مدیریت انرژی، زنجیره تامین پایدار، انتشار کربن، انرژی، اینترنت اشیاء صنعتی، بهره‌وری انرژی، مصرف انرژی، تحلیل وظیفه، مدیریت منابع، امنیت، کیفیت خدمات، مانیتورینگ، پروتکل‌ها، برداشت انرژی، قابلیت اطمینان، ارتباطات سیار نسل ۵ و مسیریابی می‌باشد.

سخت‌افزارها (ابزارهای و دستگاه‌های کلیدی): سخت‌افزارهایی که در پژوهش‌های حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز به بررسی مدیریت و کارایی انرژی در آن‌ها پرداخته شده است که کلیدی‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از شامل سیستم فیزیکی سایبری، شبکه حسگر بی‌سیم، سنسورها، ارتباطات بی‌سیم، سرورها، وسایل نقلیه‌ی هوایی بدون سرنشین و باتری‌ها بوده‌اند.

نرم‌افزارها (فناوری‌های محاسباتی): در پژوهش‌های حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز اغلب از فناوری‌ها و نرم‌افزارهای صنعت نسل ۴ و ۵ بهره برده شده است که مهم‌ترین آنها شامل هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، بلاک‌چین، بهینه‌سازی، یادگیری عمیق، پردازش ابری، محاسبات (رایانش) لبه‌ای، دسترسی چندگانه غیر متعامد، محاسبات (رایانش) لبه‌ای موبایل، یادگیری تقویتی، محاسبات (رایانش) مِه بوده است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر ارائه یک تحلیل کتاب‌شناختی از مرتبط‌ترین پژوهش‌های حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۱۳ است. در پاسخ به سؤال پژوهشی اول در مجموع ۴۶۷ مقاله‌ی پژوهشی مرتبط در حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز از پایگاه داده WOS و Scopus بازیابی شد. روند رشد سالانه پژوهش‌های این حوزه تا پایان سال ۲۰۲۴ برابر ۶۳.۶۸ است که حاکی از استقبال فزاینده پژوهشگران از این موضوع است.

مقاله در حال انتشار

در پاسخ به سوال پژوهشی دوم نتایج حاکی از آن است که چین با تولید ۱۱۷ سند، که ۵۳ سند آن با نویسندگان سایر کشورها منتشر شده است بیشترین سهم را در تولید علمی و همچنین مشارکت‌های بین‌المللی در این حوزه داشته است. تحلیل عملکرد مؤثرترین نشریات این حوزه حاکی از آن است ۱۰ نشریه اول از ۲۰۴ نشریه فعال در این حوزه سهم قابل توجهی در کل انتشارات از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ داشته و قریب ۴۰ درصد از کل مقالات این حوزه در این ۱۰ نشریه منتشر شده‌اند.

در پاسخ به سؤال پژوهشی سوم نتایج حاصل از فراوانی و تکامل مضامین کلیدی در این حوزه بر اساس ۳ بازه زمانی ۸ ساله (۲۰۲۰-۲۰۱۳)، ۲ ساله (۲۰۲۲-۲۰۲۱) و ۱۴ ماهه (۲۰۲۴-۲۰۲۳) حاکی از آن است که بیشترین واژه در هر سه بازه زمانی عبارتند از اینترنت اشیاء، اینترنت اشیاء صنعتی، صنعت نسل ۴ و کارایی انرژی است. در بازه دوم مورد بررسی مفاهیمی مانند هوش مصنوعی نیز به مفاهیم پرتکرار اضافه شد. بازه سوم نیز با ظهور مفهوم صنعت نسل ۵ همراه بوده است. همچنین، نتایج حاصل از تحلیل شبکه هم‌رخدادی واژگان کلیدی حاکی از آن است که به طوره کلی ۲ خوشه اصلی برای موضوعات و مضامین کلیدی پژوهش‌های حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز می‌توان تعریف کرد. در خوشه اول با تأکید بر اینترنت اشیاء به موضوعات پیرامونی آن مانند صنعت نسل ۴ و ۵ هوش مصنوعی و پایداری پرداخته شده است. در خوشه موضوعی دوم، اینترنت اشیاء صنعتی و مفاهیم حوزه مدیریت و بهره‌وری و کارایی انرژی مد نظر قرار گرفته است. محاسبه شاخص‌های مرکزی مطالعات این حوزه حاکی از آن است که مفاهیمی مانند اینترنت اشیاء، صنعت نسل ۴، هوش مصنوعی، پایداری، صنعت نسل ۵، سیستم فیزیکی سایبری، یادگیری ماشین، کلان‌داده‌ها در خوشه اول و مفاهیمی شامل اینترنت اشیاء صنعتی، کارایی انرژی، مصرف انرژی، تحلیل وظیفه، شبکه حسگر بی‌سیم، بهینه‌سازی، یادگیری عمیق، پردازش ابری، مدیریت منابع، سنسور، ارتباطات بی سیم، امنیت و کیفیت خدمات در خوشه دوم مفاهیم کلیدی و اثرگذار در پژوهش‌های حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز هستند. از سوی دیگر، دسته‌بندی کلمات کلیدی در سه دسته مفاهیم و مضامین کلیدی، سخت‌افزارها (ابزارهای و دستگاه‌های کلیدی) و نرم‌افزارها (فناوری‌های محاسباتی) قابل توجه است

افزایش کارایی انرژی و مدیریت آن یک نگرانی رو به رشد در استفاده از فناوری‌های نوظهور است که علاوه بر افزایش سودآوری از طریق صرفه‌جویی، باعث کاهش اثرات زیست‌محیطی نیز می‌شود. امروزه، استفاده از راهبردهای اینترنت اشیاءِ صنعتی سبز، نه تنها باعث ایجاد صنایع و اقتصاد سبز می‌شود بلکه پیش‌نیاز شکل‌گیری یک اقتصاد مسئولیت‌پذیر و پایدار نیز محسوب است. مطالعات آتی در این حوزه می‌تواند با تمرکز و ترکیب این مفاهیم و مضامین موضوعات جدید در این حوزه را توسعه دهد. علاوه بر این، شناسایی مجلات، مقالات و کشورها تأثیرگذار در این زمینه، الگوهای همکاری درون رشته‌ای و بین‌رشته‌ای، از جمله شبکه‌های هم‌نویسندگی و مشارکت‌های سازمانی در سطح همکاری‌های ملی و بین‌المللی پژوهشی در این حوزه را تسهیل می‌کند. علاوه براین، برای محققینی که قصد انجام مطالعات مروری در حوزه اینترنت اشیاء صنعتی سبز را دارند این مطالعه می‌تواند از طریق شناسایی سیستماتیک ادبیات مرتبط، درک دامنه تحقیق و شناسایی شکاف‌ها در مجموعه دانش موجود مفید واقع شود و به درک تکامل یک مسیرهای تحقیقاتی آینده کمک می‌کند. همچنین نتایج این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران علم و فناوری به منظور تدوین راهبردهای تحقیقاتی و تصمیمات تأمین مالی در این حوزه کمک کند به گونه‌ای که منابع مالی به طور مؤثری به حوزه‌هایی با اثرگذاری بالا یا اهمیت استراتژیک تخصیص داده شود.

منابع

Alahi, M. E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., & Mukhopadhyay, S. C. (2023). Integration of IoT-enabled technologies and artificial intelligence (AI) for smart city scenario: recent advancements and future trends. *Sensors*, 23(11), 5206. https://doi.org/10.3390/s23115206

Al-Khatib, A. W. (2023). The impact of industrial Internet of things on sustainable performance: the indirect effect of supply chain visibility. *Business Process Management Journal*. Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. pp. 1-25. https://doi.org/DOI:10.1108/BPMJ-03-2023-0198

Albreem, M. A., El-Saleh, A. A., Isa, M., Salah, W., Jusoh, M., Azizan, M., & Ali, A. (2017). Green internet of things (IoT): An overview. 2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA), Putrajaya, Malaysia, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICSIMA.2017.8312021.

Albreem, M. A., Sheikh, A. M., Alsharif, M. H., Jusoh, M., & Yasin, M. N. M. (2021). Green Internet of Things (GIoT): applications, practices, awareness, and challenges. *IEEE Access*, *9*, 38833-38858. https://doi.org/DOI:10.1109/ACCESS.2021.3061697

Beier, G., Niehoff, S., & Xue, B. (2018). More sustainability in industry through industrial internet of things? *Applied sciences*, *8*(2), 219. https://doi.org/DOI:10.3390/app8020219

Bonilla, S. H., Silva, H. R., Terra da Silva, M., Franco Gonçalves, R., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability*, *10*(10), 3740. https://doi.org/10.3390/su10103740

Dakhnovich, A., Moskvin, D. A., & Zegzhda, D. P. (2021). Requirements on providing a sustainability of industrial internet of things. *Automatic Control and Computer Sciences*, *55*(8), 956-961. https://doi.org/https://doi.org/10.3103/S0146411621080071

Davis, J., Edgar, T., Graybill, R., Korambath, P., Schott, B., Swink, D., Wang, J., & Wetzel, J. (2015). Smart manufacturing. *Annual review of chemical and biomolecular engineering*, *6*, 141-160. https://doi.org/DOI:10.1146/annurev-chembioeng-061114-123255

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *133*, 285-296. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Esmaeilian, B., Sarkis, J., Lewis, K., & Behdad, S. (2020). Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. *Resources, Conservation and Recycling*, *163*, 105064. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105064

Gulati, K., Boddu, R. S. K., Kapila, D., Bangare, S. L., Chandnani, N., & Saravanan, G. (2022). A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT). *Materials Today: Proceedings*, *51*, 161-165. https://doi.org/DOI:10.1016/j.matpr.2021.05.067

He, L., Xue, M., & Gu, B. (2020). Internet-of-things enabled supply chain planning and coordination with big data services: Certain theoretic implications. *Journal of Management Science and Engineering*, *5*(1), 1-22. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmse.2020.03.002

Jiang, Y., Ritchie, B. W., & Benckendorff, P. (2019). Bibliometric visualisation: An application in tourism crisis and disaster management research. *Current Issues in Tourism*, *22*(16), 1925-1957. https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1408574

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process safety and environmental protection*, *117*, 408-425. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009

Kebande, V. R. (2022). Industrial internet of things (IIoT) forensics: The forgotten concept in the race towards industry 4.0. *Forensic Science International: Reports*, *5*, 100257. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsir.2022.100257

Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K.-I. (2017). Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *International journal of innovation management*, *21*(08), 1740015. https://doi.org/DOI:10.1142/S1363919617400151

Li, Y., Dai, J., & Cui, L. (2020). The impact of digital technologies on economic and environmental performance in the context of industry 4.0: A moderated mediation model. *International Journal of Production Economics*, *229*, 107777. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107777

Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, *270*, 273-286. https://doi.org/DOI:10.1007/s10479-018-2772-8

Malik, P. K., Sharma, R., Singh, R., Gehlot, A., Satapathy, S. C., Alnumay, W. S., Pelusi, D., Ghosh, U., & Nayak, J. (2021). Industrial Internet of Things and its applications in industry 4.0: State

of the art. *Computer Communications*, *166*, 125-139. https://doi.org/DOI:10.1016/j.comcom.2020.11.016
Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & industrial engineering*, *127*, 925-953. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030
Marcal, J., Bishop, T., Hofman, J., & Shen, J. (2021). From pollutant removal to resource recovery: A bibliometric analysis of municipal wastewater research in Europe. *Chemosphere*, *284*, 131267.
Mentes, M. (2023). Sustainable development economy and the development of green economy in the European Union. *Energy, Sustainability and Society*, *13*(1), 32. https://doi.org/DOI:10.1186/s13705-023-00410-7
Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp, J. (2018). The role and impact of Industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain—the case of Hungary. *Sustainability*, *10*(10), 3491. **https://doi.org/10.3390/su10103491**
Niu, L., Zhao, X., Wu, F., Tang, Z., Lv, H., Wang, J., Fang, M., & Giesy, J. P. (2021). Hotpots and trends of covalent organic frameworks (COFs) in the environmental and energy field: Bibliometric analysis. *Science of the Total Environment*, *783*, 146838. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.146838
Rejeb, A., Simske, S., Rejeb, K., Treiblmaier, H., & Zailani, S. (2020). Internet of Things research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis. *Internet of Things*, *12*, 100318. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100318
Sadeqi-Arani, Z., & Kadkhodaie, A. (2023). A bibliometric analysis of the application of machine learning methods in the petroleum industry. *Results in Engineering*, *20*, 101518. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101518
Sadeqi-Arani, Z., & roozmand, o. (2024). A Review of Three Decades Using Agent-Based Modelling and Simulation in Marketing and Consumer Behavior. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, *2*(16), 257-273. https://doi.org/10.22094/joie.2023.1991052.2087
Sedighi, M. (2016). Application of word co-occurrence analysis method in mapping of the scientific fields (case study: the field of Informetrics). *Library Review*, *65*(1/2), 52-64. https://doi.org/10.1108/LR-07-2015-0075
Serror, M., Hack, S., Henze, M., Schuba, M., & Wehrle, K. (2020). Challenges and opportunities in securing the industrial internet of things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *17*(5), 2985-2996. https://doi.org/DOI: 10.1109/TII.2020.3023507
Tabaa, M., Monteiro, F., Bensag, H., & Dandache, A. (2020). Green Industrial Internet of Things from a smart industry perspectives. *Energy Reports*, *6*, 430-446. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.09.022
Wang, K., Wang, Y., Sun, Y., Guo, S., & Wu, J. (2016). Green industrial Internet of Things architecture: An energy-efficient perspective. *IEEE Communications Magazine*, *54*(12), 48-54. https://doi.org/DOI:10.1109/MCOM.2016.1600399CM
Zhang, G., Yang, Y., & Yang, G. (2023). Smart supply chain management in Industry 4.0: the review, research agenda and strategies in North America. *Annals of Operations Research*, *322*(2), 1075-1117. https://doi.org/DOI:10.1007/s10479-022-04689-1

پیوست

دستور جستجوی مقالات:

(TS=(“industrial internet of thing*”) OR TS=(" IIoT ") OR TS=(“industrial iot”) OR (TI=(manufactur*) OR TI=(industry*)) AND (TS=(“internet of thing*”))) AND (TI=(“green*”) OR TI=(“sustainabl*”) OR TI=(“environmenta*”) OR AK=(“green*”) OR AK=(“sustainabl*”) OR AK=(“ environmenta*”) OR TI=(“ energy management”) OR AK=(“ energy management”) OR TI=(“Energy-Efficien*”) OR AK=(“Energy-Efficien*”) OR TI=(“Energy-aware”) OR AK=(“Energy-aware”))