بازیابی اطلاعات پایدار و هوش مصنوعی سبز:
راهکاری به سوی محاسبات سازگار با محیط زیست

نیلوفر مظفری

استادیار موسسه استنادی و پایش علم و فناوری جهان اسلام (ISC)

mozafari@isc.ac

سید یاسین شریعتی آلسعدی

دانشجوی کارشناسی مهندسی کامپیوتر؛ دانشگاه شیراز

مقدمه: بازیابی اطلاعات نقش مهمی در سازمان‌دهی و دسترسی به داده‌ها در سامانه‌هایی چون کتابخانه‌های دیجیتال، موتورهای جستجو و سامانه‌های توصیه‌گر ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر، بکارگیری مدل‌های یادگیری عمیق و مدل‌های زبانی بزرگ، موجب بهبود عملکرد این سامانه‌ها شده است. با این حال، این مدل‌ها به منابع پردازشی قابل‌توجهی نیاز دارند و همین امر، مصرف انرژی و تاثیرات زیست‌محیطی را افزایش داده است. این مقاله با هدف جلب توجه جامعه علمی به ضرورت طراحی سامانه‌های هوشمند با درنظر گرفتن پایداری محیط‌زیستی، به بررسی مفهوم هوش مصنوعی سبز و کاربرد آن در حوزه بازیابی اطلاعات می‌پردازد.

روش‌شناسی: در این پژوهش که به صورت مروری نظام‌مند انجام گرفت، مقالات علمی منتشرشده به زبان انگلیسی در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴ بررسی گردید. جستجوی منابع از طریق دو پایگاه علمی اسکوپوس و وب‌آوساینس انجام پذیرفت. انتخاب مقالات طی یک فرآیند چندمرحله‌ای انجام شد. در گام نخست، بر اساس عنوان، چکیده و کلیدواژه‌ها، ۱۲۰۰ مقاله اولیه استخراج شد. سپس این مقالات توسط یک متخصص موضوعی مورد بازبینی قرار گرفت و نمونه‌های نامرتبط حذف گردید که تعداد مقالات به ۷۷۹ مورد کاهش یافت. در ادامه، مقالات تکراری میان دو پایگاه شناسایی و حذف شدند و در نهایت، ۵۶۳ مقاله منحصربه‌فرد برای تحلیل نهایی باقی ماند. تحلیل محتوای این مجموعه با استفاده از روش‌های پردازش زبان طبیعی انجام گرفت تا ساختار موضوعی مقالات به دقت شناسایی و تحلیل شوند.

یافته های اصلی: نتایج نشان داد که توجه به هوش مصنوعی سبز طی دهه گذشته روندی صعودی داشته است؛ به‌گونه‌ای که تعداد مقالات منتشرشده در این زمینه از تنها ۱ مورد در سال ۲۰۱۵ به ۲۷۶ مورد در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است. ۶۷٪ از پژوهش‌ها بر بهینه‌سازی مصرف انرژی و ۲۴٪ بر کاهش کربن تمرکز داشتند؛ در حالیکه سایر جنبه‌های زیست‌محیطی مانند ردپای اکولوژیکی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از منظر حوزه‌های علمی، بیشترین مشارکت متعلق به رشته‌های انرژی، علوم رایانه، مهندسی و علوم تصمیم‌گیری بود که حاکی از ماهیت میان‌رشته‌ای این حوزه است. راهکارهایی نظیر استفاده مجدد از مدل‌های پیش‌آموزش‌دیده، فشرده‌سازی

مدل‌ها، و بهره‌گیری از محاسبات ابری در جهت کاهش مصرف منابع پیشنهاد شده‌اند. همچنین، برخی مطالعات به معرفی چارچوب‌هایی برای سنجش دقیق گازهای گلخانه‌ای تولیدشده در مراحل مختلف آموزش و استنتاج مدل‌ها پرداخته‌اند.

بحث و نتیجه گیری: پیشرفت‌های اخیر در بازیابی اطلاعات، امکان دسترسی سریع‌تر و دقیق‌تر به داده‌ها را فراهم کرده؛ اما هم‌زمان نگرانی‌هایی درباره اثرات زیست‌محیطی آن‌ها ایجاد شده است. مفاهیم نوینی مانند هوش مصنوعی سبز و بازیابی اطلاعات پایدار با هدف کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در این فرآیندها معرفی شده‌اند. با افزایش استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق در سامانه‌های بازیابی اطلاعات، نیاز به طراحی الگوریتم‌های بهینه با مصرف محاسباتی کمتر ضروری شده است. این امر شامل کاهش تعداد آزمایش‌ها و درخواست‌های غیرضروری به سرورها، استفاده از مدل‌های پیش‌آموزش‌دیده و بهره‌گیری از داده‌های موجود است. همچنین بکارگیری محاسبات ابری، کاهش ابعاد داده‌ها و بهینه‌سازی منابع سخت‌افزاری می‌تواند به کاهش بار پردازشی کمک کند. پژوهش در این زمینه نیاز به رویکردی بین‌رشته‌ای داشته که از ابزارهای نوین برای ارزیابی تاثیرات محیطی بهره گرفته شود. در نهایت، هدف اصلی این رویکردها، افزایش آگاهی و مسئولیت‌پذیری جامعه علمی نسبت به اثرات زیست‌محیطی تحقیقات و پژوهش‌ها است تا با توسعه فناوری‌های پایدار، به کاهش تغییرات اقلیمی، حفظ منابع طبیعی و بهبود کیفیت زندگی بشر کمک شود.

کلیدواژه ها: هوش مصنوعی سبز، بازیابی اطلاعات پایدار، انتشار گازهای گلخانه‌ای، هوش مصنوعی قرمز، شبکه‌های عصبی.

Sustainable Information Retrieval and Green Artificial Intelligence: A Solution for Environmentally-Friendly Computing

Niloofar Mozafari (corresponding author);
PhD in Artificial Intelligence; Assistant Professor;
Islamic World Science & Technology Monitoring and Citation Institute (ISC); Shiraz; Iran.
(mozafari@isc.ac)

Seyed Yasin Shariati Alsaadi;
Undergraduate Student in Computer Engineering;
Shiraz University; Shiraz; Iran.

Introduction: Information retrieval plays a crucial role in organizing and accessing data within systems such as digital libraries, search engines, and recommender systems. In recent years, the adoption of deep learning models and large language models has significantly enhanced the performance of these systems. However, these models require substantial computational resources, leading to increased energy consumption and environmental impact. This paper aims to draw the attention of the scientific community to the necessity of designing intelligent systems with environmental sustainability in mind, by exploring the concept of Green AI and its application in the field of information retrieval.

Methodology: This study, conducted as a systematic review, examined English-language scientific articles published between 2015 and 2024. The literature search was performed using two academic databases, Scopus and Web of Science. Article selection followed a multi-stage process. Initially, 1,200 articles were retrieved based on their titles, abstracts, and keywords. These articles were then reviewed by a subject-matter expert, and irrelevant studies were excluded, reducing the number to 779. Subsequently, duplicate articles across the two databases were identified and removed, leaving 563 unique articles for the final analysis. Content analysis of this collection was conducted using natural language processing methods to accurately identify and analyse the thematic structure of the articles.

Main findings: The results revealed a growing trend in attention to green artificial intelligence over the past decade. The number of publications in this field increased significantly from just 1 article in 2015 to 276 articles in 2024. Approximately 67% of the studies focused on optimizing energy consumption, and 24% addressed carbon reduction, while other environmental aspects such as

ecological footprint received comparatively less attention. In terms of academic disciplines, the highest contributions came from the fields of energy, computer science, engineering, and decision sciences, highlighting the interdisciplinary nature of this domain. Proposed solutions included reusing pre-trained models, compressing models, and leveraging cloud computing to reduce resource consumption. Additionally, some studies introduced frameworks for accurately measuring greenhouse gas emissions produced during various stages of model training and inference.

Discussion and conclusions: Recent advancements in information retrieval have enabled faster and more accurate access to data; however, they have also raised concerns about their environmental impact. Emerging concepts such as Green AI and Sustainable Information Retrieval aim to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions in these processes. With the growing use of deep learning models in retrieval systems, designing optimized algorithms with lower computational costs has become essential. This includes minimizing unnecessary server queries and experiments, utilizing pre-trained models, and leveraging existing datasets. Additionally, employing cloud computing, reducing data dimensionality, and optimizing hardware resources can significantly decrease computational load. Research in this area requires an interdisciplinary approach and the use of innovative tools to assess environmental impacts. Ultimately, these approaches seek to raise awareness and foster responsibility within the scientific community regarding the environmental footprint of research activities, thereby promoting the development of sustainable technologies that contribute to climate change mitigation, conservation of natural resources, and improved quality of human life.

Keywords: Green Artificial Intelligence, Sustainable Information Retrieval, Greenhouse Gas Emissions, Red AI, Neural Networks.