Business Intelligence Management Studies
Vol. 12, No.45, Fall 2023; P 71-116
ims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/ims.2023.74099.2341

ATU PRESS

Original Research
Received: 17 June 2023 Revised: 02 July 2023 Accepted: 31 October 2023
ISSN: 2821-0964 EISSN: 2821-0816

Artificial Intelligence and the Evolution of Scientific Progress: From Normal Science to Post-Normal Science

Mohammad Hoseini Moghadam *

Assistant professor, Foresight Department, Institute for Social and Cultural Studies,, Tehran, Iran

Abstract

The touch of the product plays an important role in the final decision of the customer when purchasing from physical and online retail, and the sensations that come to be enjoyed through touch enable them to experience the product from all angles. Therefore, considering the importance of touch, this research has investigated the lived experience of touching the product from the point of view of customers of physical and online stores. The following article is done with qualitative method and phenomenological paradigm. The research community is made up of electronic and clothing buyers from online and physical stores: Technolife, Adak, Havadar and Happyland in Tehran, and through semi-structured interviews, evidence was collected based on the purposeful sampling method. The interviews continued until reaching the theoretical saturation, and in this research, the interviews reached saturation with 15 people. Based on the extracted results, the main themes include; Product perception is physical touch, virtual touch, touch experiences, need for touch and touch perceptions. According to the results, managers of physical and online stores should provide conditions (such as the use of modern technologies) that touch and contact with the product happen to both groups of online and physical buyers so that they can buy products based on their needs and wants, and also this research can pave the way for the development of touch literature for researchers.

1. Introduction

Throughout human history, the idea of progress has been a central concern for thinkers and intellectuals, with technological advancements playing a pivotal role in shaping the development of

* Corresponding Author: moghadam@iscs.ac.ir

How to Cite: Hoseini Moghadam, M. (2023). Artificial Intelligence and the Evolution of Scientific Progress: From Normal Science to Post-Normal Science, *Journal of Business Intelligence Management Studies*, 12(45), 71-116.

societies (Du Pisani, 2006; Rivers, 2002). Artificial intelligence (AI), as a driving force behind the fourth industrial revolution, has had a profound impact on numerous fields, including scientific research and discovery (Velarde, 2020). AI has revolutionized scientific knowledge to such an extent that distinguishing between the discoveries made by intelligent machines and human experts has become increasingly difficult (Krenn et al, 2022). This article explores the implications of AI for the future of scientific progress and its potential to give rise to post-normal science.

Here is my attempt at rewriting the text as a senior researcher:

The central question examined in this article is: what role does AI play in shaping the future of scientific developments? In exploring this overarching question, several related questions are also considered: How can AI be leveraged to uncover and obtain new scientific knowledge? Can novel computing techniques based on AI not only detect unusual patterns and events in data, but also lay the groundwork for new scientific advances? Might AI furnish new theories and transform our comprehension of science? Can AI-based scientific systems determine which scientific questions are worthwhile, and for whom are they valuable? Looking ahead, what assurances will scientists have about the validity of AI-based analyses in science?

In response to these pressing questions, the core hypothesis presented is that AI has become the foundation for the emergence of a new breed and style of scientific discovery, which can be characterized as post-normal science. To evaluate this hypothesis, the historical background of relevant research is reviewed. AI represents a seismic shift in the practice of science, enabling analyses and discoveries that would be impossible for humans alone. While promising, it also poses troubling philosophical questions about the nature of truth and scientific understanding.

2. Methodology

A variety of research methods were employed to address the questions raised in this study, including a systematic review of relevant literature to identify the transition from normal to post-normal science, trend analysis to examine the influence and expansion of AI in scientific discoveries, documentary studies to obtain theoretical and

conceptual foundations, and modeling to understand and describe the progress of post-normal science under the influence of AI.

3. Findings

AI has facilitated a new model of scientific discovery, known as data-driven scientific discovery, which derives hypotheses from data rather than relying on preconceived assumptions (Wheeler, 2004). This approach has transformed traditional sciences into data sciences, with scientific patterns extracted from data and an increasing focus on intelligent automation in scientific progress (King & Roberts, 2018). As a result, a new type of epistemology has emerged, characterized by the involvement of machines in scientific discovery and the advancement of the science cycle. This development, referred to as "Science 0.4" or the fourth type of science, has integrated science into society, enabling every citizen to participate as a scientist and fostering a shift towards "open science" (Odman & Govender, 2021).

AI's impact on scientific research has been guided by several key principles, including sustainability, different forms of knowledge, accountability and responsibility, values and interests, collective wisdom and rationality, and non-determinism and non-linearity in the process of scientific discovery. AI has contributed to the realization of post-normal science by facilitating simulation and modeling, improving decision-making, promoting ethics, embracing diversity, fostering interdisciplinary collaboration, expanding stakeholder engagement, and enabling big data analysis.

4. Conclusion

AI systems have fostered interdisciplinary collaborations and facilitated the integration of knowledge and expertise across various fields, allowing for the identification and resolution of complex, interdisciplinary scientific issues. This collaboration disrupts the linear progression of normal science, promoting a more integrated and cooperative approach to problem-solving. Furthermore, AI has introduced new ethical and social considerations in scientific research, necessitating a departure from conventional forms of normal science. Although it remains uncertain whether AI will replace the human role in scientific discovery, it is clear that scientists and institutions that embrace AI technology will surpass those that do not.

5. Recommendations

To achieve excellence in the field of AI within scientific institutions, it is crucial to understand the "state of maturity in AI" and to establish a starting point for the governance system of science and its actors. In this process, scientific institutions can be categorized along a spectrum, ranging from those seeking to familiarize themselves with AI-driven changes in scientific discovery to those actively leveraging AI technology to advance scientific knowledge.

Keywords: Artificial Intelligence, Normal Science, Post Normal Science, Science Progress, Scientific Discoveries.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقاله پژوهشی تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۹
ISSN: 2821-0964 eISSN: 2821-0816

مطالعات مدیریت کسب و کار هوشمند
سال دوازدهم، شماره ۴۵، پاییز ۱۴۰۲، ص ۷۱ تا ۱۱۶
ims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/ims.2023.74099.2341

هوش مصنوعی و آینده پیشرفت علمی: گذار از علم عادی به علم پساعادی

محمد حسینی مقدم ✱
استادیار گروه مطالعات آینده‌نگر، موسسه مطالعات فرهنگی و اجتماعی، تهران، ایران

چکیده

در طول تاریخ ایده پیشرفت یکی از موضوعات اصلی اندیشمندان بوده است. ابتنا به علم و فناوری برای دستیابی به پیشرفت و بهبود مستمر کیفیت زندگی به یکی از اصول جهان‌شمول کشورهای توسعه‌گرا تبدیل شده است. بهره‌مندی از هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از پیشرفت‌های فناورانه به‌منظور تواناسازی انسان در محاسبه‌گری، پیش‌بینی و شکل‌دهی به آینده مطلوب موردتوجه متخصصان و دانشمندان قرار گرفته است. گسترش به‌کارگیری هوش مصنوعی در اکتشافات علمی موجب پیدایش تحولات هستی‌شناختی و معرفت‌شناختی در علم شده است. این موضوع در قالب رویکرد علوم پساعادی قابل تبیین است. هدف این مقاله تبیین چگونگی بهره‌مندی از هوش مصنوعی برای ارتقای توان اکتشافات علمی و دانش‌ورزی انسانی در فرایند پیشرفت علم است. پرسش اصلی این مقاله آن است که هوش مصنوعی چگونه امکان گذار از علوم عادی به علوم پساعادی را مهیا ساخته است؟ روش‌های استفاده‌شده در این مقاله عبارت‌اند از: مطالعات اسنادی و مرور آثار به‌منظور بررسی منابع علمی مرتبط و شناخت مبانی نظری و مفهومی گذار از علم عادی به علم پساعادی، تحلیل روند به‌منظور بررسی چگونگی نفوذ هوش مصنوعی در پیشرفت علم و فناوری و مدل‌سازی به‌منظور درک و توصیف فرآیند پیشرفت علم پساعادی در سایه به‌کارگیری هوش مصنوعی. یافته‌های اصلی این مقاله عبارت‌اند از: پیشرفت علم از حیث ساختار، کارکرد، روش و عاملیت انسان به شیوه‌ای بنیادین توسط هوش مصنوعی دستخوش تحول شده است. توسعه سخت‌افزارها، نرم‌افزارها و توان محاسباتی ماشین‌ها مزیت‌های ویژه‌ای برای نهادها، سازمان‌ها، مؤسسات و افراد بهره‌بردار از هوش مصنوعی ایجاد کرده است تا به کمک این فناوری بتوانند سرعت و برتری خود را در اکتشافات علمی در مقایسه با نهادها و افرادی که دسترسی به این فناوری ندارند ارتقا بخشند. این وضعیت نه تنها باعث شکل‌گیری نوعی استیلا و انقیاد نوین در علم می‌شود بلکه به شکل مستمر باعث تشدید شکاف میان بهره‌برداران و محرومان از هوش مصنوعی در فرایند علم‌ورزی خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: هوش مصنوعی، علم عادی، علم پساعادی، پیشرفت علم، اکتشافات علمی.

✱ نویسنده مسئول : moghadam@iscs.ac.ie

مقدمه

تحولات اندیشه در جامعهٔ بشری بیانگر آن است که ایدهٔ پیشرفت[1] یکی از بنیادی‌ترین دغدغه‌های اندیشمندان و فرهیختگان بوده است (Du Pisani, 2006: 83). در سیر تطور جوامع انسانی ایده پیشرفت همواره متغیری وابسته به رشد فناوری لحاظ و این دیدگاه توسط متفکرانی همچون بیکن[2]، دکارت[3] و مارکس[4] نظریه‌پردازی شده است (Rivers, 2002: 503). هوش مصنوعی[5*] در امتداد پیشرفت‌های فناورانه زمینه‌ساز دگردیسی در تمامی ساحت‌های اجتماعی شده به شکلی که گسترش انقلاب صنعتی چهارم بر پایه این فناوری تکوین یافته و در مقایسه با سایر انقلاب‌های صنعتی از حیث سرعت و دامنهٔ شمول بسیار سریع و فراگیر است (Velarde, 2020: 44).

اندرو ان جی[6] یکی از متخصصان هوش مصنوعی در کتابی با عنوان «AI الکتریسیته جدید است[7]» موضوع نفوذ فناوری هوش مصنوعی در جوامع انسانی را به گسترش الکتریسیته تشبیه کرده که به شکل خزنده اما فراگیر تمامی ساحت‌های زندگی انسان را به خود وابسته ساخته است و به زعم وی تأثیرگذار بودن هوش مصنوعی تا بدان پایه ادامه پیدا خواهد کرد که تصور زندگی بدون دسترسی به تجهیزات و سامانه‌های هوشمند همچون تصور زندگی بدون الکتریسیته برای بشر امروز بسیار دشوار خواهد بود (NG, 2018).

روند اثربخشی هوش مصنوعی در بهبود عملکرد انسان به شکلی است که زمینه‌ساز تحول در مشاغل آینده برپایه نقش‌آفرینی ماشین‌های هوشمند شده و این موضوع به یکی از آینده‌های باورپذیر پیش روی جوامع بشری تبدیل شده است (Paolillo et al, 2022).

---

1. Idea of Progress
2. Bacon
3. Descartes
4. Marx
5. Artificial Intelligence (AI)

در این اثر برای رعایت اختصار در برخی موارد به‌جای مفهوم هوش مصنوعی از حروف اختصاری معادل انگلیسی آن، AI، استفاده شده است.

6. Andrew Ng
7. AI Is the New Electricity

مطابق گزارش مجمع جهانی اقتصاد[1] با عنوان «آینده مشاغل» تا افق ۲۰۲۵ تعداد ۸۵ میلیون شغل در سراسر جهان توسط هوش مصنوعی از میان خواهد رفت (World Economic Forum, 2020:29).

نقش هوش مصنوعی در متحول ساختن روند بهره‌وری و ظرفیت تولید ناخالص داخلی اقتصاد جهانی باعث شده این فناوری به یکی از مهم‌ترین حوزه‌های تصمیم‌گیری راهبردی کشورهای جهان تبدیل شود. شرکت‌ها به دنبال افزایش بهره‌وری نیروی کار خود با فناوری‌های هوش مصنوعی و خودکارسازی برخی وظایف و نقش‌ها هستند. بررسی‌های انجام‌شده بیانگر آن است تا سال ۲۰۳۰ هوش مصنوعی باعث خلق ۱۵/۷ تریلیون دلار گردش مالی در اقتصاد جهانی خواهد شد که این آمار بیش از مجموع بروندادهای اقتصادی فعلی دو کشور چین و هند است (Sahi, 2022). این روند باعث شده برخی از تحلیل‌گران مفهوم تغییردهنده بازی[2] یا عامل سرنوشت‌ساز را برای توصیف نقش و اهمیت راهبردی هوش مصنوعی مطرح کنند (Gusai & Rani, 2022).

این پیشرفت سرنوشت‌ساز باعث شده است بسیاری از کنشگران در عرصه‌های کسب‌وکار، نوآوری، کارآفرینی، اقتصاد، خدمات، صنعت، علم و فناوری برای دستیابی به بروندادها، پیامدها و اثربخشی مطلوب و بهینه خود به‌سوی بهره‌مندی از این فناوری متمایل شوند. از جمله حوزه‌هایی که اشتیاق و ظرفیت بسیاری برای این موضوع دارد عرصه اکتشافات، پیشرفت‌ها و پژوهش‌های علمی است. هوش مصنوعی شناخت علمی را متحول ساخته است به شکلی که تمییز قائل شدن میان اکتشافات علمی توسط ماشین‌های هوشمند و متخصصان انسانی دشوار شده است (Krenn et al, 2022).

با توجه به نکات گفته‌شده پرسش اصلی این مقاله آن است که نقش هوش مصنوعی در شکل‌دهی به آینده پیشرفت‌های علمی چیست؟ در کنار پاسخ به این پرسش چند پرسش دیگر نیز موردتوجه قرار گرفته است شامل: چگونه می‌توان از هوش مصنوعی برای کشف و دستیابی به دانش و معرفت علمی جدید استفاده کرد؟ آیا ممکن است روش‌های

1. World Economic Forum
2. Game Changer

نوین محاسبات مبتنی بر هوش مصنوعی نه تنها باعث کشف الگوها و رویدادهای غیرعادی در داده‌ها شود، بلکه زمینه‌ساز پیشرفت‌های علمی جدید شود؟ آیا هوش مصنوعی می‌تواند نظریه‌های جدیدی ارائه کرده و شناخت ما از علم را متحول سازد؟ آیا سامانه‌های علمی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند تصمیم بگیرند که کدام سؤالات علمی ارزشمند هستند؟ و برای چه کسی ارزشمند است؟ در آینده چه تضمینی برای دانشمندان وجود دارد که از پیامد تحلیل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در علم اطمینان خاطر داشته باشند؟ در پاسخ به این پرسش‌ها فرضیه اصلی این مقاله آن است که هوش مصنوعی زمینه‌ساز پیدایش نوع و سبک جدیدی از اکتشافات علمی شده است که در قالب علوم پسانرمال یا پساعادی تبیین‌پذیر است. برای پاسخ به این پرسش پیشینه پژوهش بررسی شده است.

پیشینه پژوهش

بررسی پیشینه پژوهش برحسب دو دسته آثار صورت گرفته است: نخست بررسی آثار علمی مرتبط با رویکرد علم پساعادی در اکتشافات علمی و دوم تأثیرگذاری هوش مصنوعی بر اکتشافات علمی. در ادامه مهم‌ترین آثار بررسی‌شده مرتبط با دو دسته یادشده عبارت‌اند از:

سیلویو فُونتویچ[1] و جری ریوز[2] در مقاله‌ای با عنوان «علم برای دوران پساعادی» مفهوم علم پساعادی و ارتباط آن با زمینه‌های پیچیده و نامشخص، از جمله پایداری زیست‌محیطی و بیوتکنولوژی را معرفی و تأکید می‌کنند پیچیدگی‌های حاکم بر زمینه‌های شکل‌دهنده به موضوعات و مسائل اکنون و آینده به شکلی است که علم عادی به روایت تامس کوون[3] امکان تبیین عدم قطعیت‌ها، پیچیدگی‌ها و جذب مشارکت متخصصان از حوزه‌های متفاوت را به دست نمی‌دهد (Funtowicz & Ravetz, 1993).

دسای[4] در کتابی با عنوان «پیش‌بینی آب‌وهوا: یک رویکرد احتمالی» ضمن تأکید بر

1. Silvio Funtowicz
2. Jerry Ravetz
3. Thomas Khun
4. Dessai

لزوم استفاده از رویکردهای مبتنی بر فهم وضعیت‌های احتمالی در پیش‌بینی تغییرات اقلیم استدلال می‌کند تغییرات اقلیم یک زمینه پیچیده و نامشخص است که تبیین و فهم آن نیازمند رویکرد علم پساعادی است (Dessai, 2001).

رواتز در مقاله‌ای با عنوان «علم پساعادی، علوم زیست‌محیطی و سیاست» پارادایم علم پساعادی و دستاوردهای آن برای تبیین مسائل پیچیده و نامطمئن زیست‌محیطی و اجتماعی را ارائه و بر برتری این رویکرد در برابر رویکرد علم عادی تأکید می‌کند (Ravetz,2007).

ویلد[1] در مقاله‌ای با عنوان «علم، سیاست و اخلاق در دوران پساعادی» پیامدهای اخلاقی و سیاسی بهره‌مندی از علم پساعادی را در نظام تصمیم‌گیری بررسی و بر اهمیت این رویکرد در مهیا ساختن زمینه مشارکت ذینفعان متنوع و توجه به ارزش‌ها در فرآیند علمی تأکید می‌کند (Wield, 1997).

فونتویچ و راوتز در کتابی با عنوان «عدم قطعیت و کیفیت در علم و تأثیر آن بر خط‌مشی‌گذاری» ضمن توصیف پارادایم علم پساعادی دستاوردهای به‌کارگیری این پارادایم را برای تبیین رابطه میان علم و سیاست بررسی و مشارکت‌پذیر بودن و ارزش‌مداری در پیشرفت علمی تأکید می‌کنند. نویسندگان یادشده ادعا می‌کنند که این پارادایم برای اطمینان از استفاده مؤثر از علم در سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری مبتنی بر درک کامل محدودیت‌ها و عدم قطعیت‌ها در اکتشافات علمی ضروری است (Funtowicz & Ravetz, 1994).

برینجولفسون[2] و مک‌کافی[3] در کتابی با عنوان «دومین عصر ماشین: کار، پیشرفت و شکوفایی در دوران فناوری‌های درخشان» ضمن بررسی تأثیر هوش مصنوعی و سایر فناوری‌ها بر اقتصاد و جامعه نقش هوش مصنوعی را در تغییر علم و نوآوری برجسته می‌کنند. به زعم آن‌ها هوش مصنوعی دانشمندان را قادر می‌سازد تا حجم عظیمی از داده‌ها

1. Wield
2. Brynjolfsson
3. McAfee

را پردازش کرده و اکتشافات جدیدی را انجام دهند که با استفاده از روش‌های سنتی غیرممکن بود. آن‌ها خاطرنشان می‌کنند گسترش نفوذ هوش مصنوعی در ساحت علم، زمینه‌ساز جایگزینی ماشین‌ها به جای دانشمندان انسانی می‌شود. علاوه بر این، آن‌ها بیان می‌کنند که اتکای فزاینده به هوش مصنوعی ممکن است منجر به از دست دادن تخصص و خلاقیت انسان در برخی زمینه‌های علمی شود (Brynjolfsson, & McAfee, 2014).

وانگ[1]، چن[2] و یانگ[3] در مقاله‌ای با عنوان «AI در علم: فرصت‌ها و چالش‌ها» امکان‌هایی که هوش مصنوعی برای تغییر علم و نوآوری به دست می‌دهند را بررسی می‌کنند و همچنین چالش‌ها و ملاحظات اخلاقی مرتبط با استفاده از هوش مصنوعی در علم را موردبحث قرار می‌دهد. به گفته نویسندگان، هوش مصنوعی این پتانسیل را دارد که تا حد زیادی توانایی‌های دانشمندان بشری را افزایش داده و آن‌ها را قادر می‌سازد تا حجم وسیعی از داده‌ها را پردازش کنند و اکتشافات جدیدی را انجام دهند که با استفاده از روش‌های سنتی غیرممکن بود. آن‌ها خاطرنشان می‌کنند که الگوریتم‌های هوش مصنوعی در زمینه‌های مختلف علمی، از فیزیک و زیست‌شناسی گرفته تا روان‌شناسی و علوم اجتماعی، استفاده می‌شوند و تأثیر آن در سراسر جامعه علمی محسوس است (Wang, Chen, & Yang, 2018).

اوریلی[4] در مقاله‌ای با عنوان «آینده هوش مصنوعی در علم و پژوهش» توانمندی‌های هوش مصنوعی برای ایجاد تحول در تحقیقات و اکتشافات علمی را بررسی و اهمیت استفاده مسئولانه و اخلاقی از هوش مصنوعی در علم را برجسته می‌کند. به اعتقاد او هوش مصنوعی با پردازش مقادیر زیادی داده و به دست دادن پیش‌بینی‌هایی درباره روابط میان متغیرها این ظرفیت را دارد که روش انجام علم را متحول کند و اکتشافات علمی را به شکلی سریع‌تر، کارآمدتر و دقیق‌تر توسعه دهد به گونه‌ای که برای روش‌های سنتی اکتشاف علمی غیرممکن است (O'Reilly, 2017).

1. Wang
2. Chen
3. Yang
4. O'Reilly

لئو[1] و یانگ[2] در مقاله‌ای با عنوان «AI در اکتشافات علمی» ظرفیت‌های هوش مصنوعی برای تغییر روند اکتشافات علمی را بررسی کرده و چالش‌ها و ملاحظات اخلاقی مرتبط با استفاده از هوش مصنوعی در علم را موردبحث قرار داده‌اند (Liu, & Yang, 2020).

گونزالس مارتینز[3] در اثری با عنوان «علم داده‌محور و نظریه‌محور» استفاده از روش‌های داده‌محور را به‌عنوان پارادایم نوینی در معرفت علمی مطرح می‌کند که بدیل علم عادی موردنظر کوون در تبیین داده‌های مرتبط با واقعیت‌های طبیعی است (Gonzales-Martinez, 2021:4).

کرن[4] و همکاران در مقاله‌ای با عنوان «شناخت علمی از طریق AI» این موضوع را مطرح کردند که با افزایش قدرت محاسبات و پیشرفت در هوش مصنوعی به چند شکل شناخت علمی نوینی حاصل می‌شود: نخست هوش مصنوعی به‌عنوان ابزار باعث آشکارسازی آن دسته از ویژگی‌های سامانه‌های فیزیکی می‌شوند که در نبود هوش مصنوعی شناخت آن‌ها دشوار یا غیرممکن است؛ دوم هوش مصنوعی الهام‌بخش دانشمندان انسانی برای شناخت مفاهیم و ایده‌های جدید در شناخت علمی می‌شود؛ سوم هوش مصنوعی به‌عنوان عامل شناخت علمی موجب دستیابی به بینش علمی و انتقال آن به پژوهشگران انسانی می‌شود (Krenn et al, 2022).

کینگ[5] در مقاله‌ای با عنوان «هوش مصنوعی در اکتشافات علمی» ضمن مرور جامع چگونگی استفاده از هوش مصنوعی در اکتشافات علمی ظرفیت‌ها و چالش‌های استفاده از هوش مصنوعی در پژوهش‌های علمی را موردبحث قرار می‌دهد (King, 2017).

بررسی مستندات و سوابق مرتبط با موضوع مقاله بیانگر آن است که نوعی اجماع نظر میان متخصصان در خصوص تأثیرگذاری هوش مصنوعی بر اکتشافات و پیشرفت‌های علم

---

1 Liu
2 Yang
3 Gonzales-Martinez
4 Krenn
5 King

به وجود آمده است؛ اما در این بررسی چگونگی پیدایش سبک و نوع جدیدی از علم‌ورزی، اکتشافات عملی و گذار از علم عادی به علم پساعادی مطرح نشده است. در ادامه مطابق شکل ۱ این گذار بررسی و از حیث مفهومی صورت‌بندی شده است تا مشخص کند چگونه هوش مصنوعی زمینه‌ساز پیدایش علم پسانرمال شده است.

شکل ۱. روندنمای تدوین مقاله

براین‌اساس نخست چالش‌های پیش روی علم عادی بیان شده و سپس امکان‌ها و ظرفیت‌های علم پساعادی در پاسخگویی به چالش‌های به وجود آمده توصیف شده است. در ادامه چگونگی تأثیرگذاری هوش مصنوعی در تحقق این گذار موردبحث قرار گرفته و به دنبال آن مدل مفهومی و چارچوب نظری پشتیبان این گذار تبیین شده است. پس‌ازآن شواهد عینی بیانگر تحول در اکتشافات علمی به کمک هوش مصنوعی بیان شده است.

مبانی نظری و چارچوب مفهومی

در ادامه از حیث مفهومی و نظری چگونگی پدیدار شدن ایده گذار از علم عادی به علم پساعادی و چارچوب نظری توسعه‌داده‌شده در این مقاله برای تبیین گذار یادشده توضیح داده شده است.

الف-گذار از علم عادی به علم پساعادی

در طول تاریخ تمدن بشر معرفت و شیوه‌های دستیابی به آن به شکل مستمر دستخوش تحول قرار گرفته است. مطابق همین اصل دستیابی به معرفت علمی هم متحول شده است (Krenn et al, 2022). ضیاءالدین سردار[1]، از صاحب‌نظران آینده‌پژوهی و سردبیر سابق مجله فیوچرز[2]، در مقاله‌ای با عنوان «به دوران پساعادی خوش‌آمدید[3]» استدلال می‌کند که وارد عصر جدیدی به نام «دوران پساعادی» شده‌ایم که سه مشخصه اصلی دارد شامل: عدم قطعیت، پیچیدگی و عدم اجماع درباره واقعیت‌ها. وی استدلال می‌کند رویکردهای علم عادی برای تصمیم‌گیری و حل مسئله در این دوره کارآمد نیستند و نیازمند شیوه‌های نوین تفکر و عمل مبتنی بر مشارکت‌پذیری ذی‌نفعان، جامع‌نگری، رویکرد میان‌رشته‌ای، تنوع‌پذیری و همچنین در نظر گرفتن پیامدهای اخلاقی است (Sardar, 2010).

علوم پساعادی پارادایم بدیلی است که در برابر پارادایم علم نرمال یا علم عادی تامس کوون مطرح شد. کوون در سال ۱۹۶۲ در اثر معروف خود با عنوان «ساختار انقلاب‌های علمی[4]» چارچوبی را ذیل مفهوم «علم عادی[5]» مطرح کرد. مطابق نظر وی علم عادی ناظر بر کار روزانه دانشمندان در یک پارادایم یا چارچوب نظری غالب است. در طول دوره‌های علم عادی، دانشمندان با استفاده از روش‌های تعیین‌شده، برای حل معماهای علمی و پاسخ به سؤالاتی که با الگوی رایج سازگار است، فعالیت می‌کنند. به عقیده کوون مشخصه‌های اصلی علم عادی عبارت‌اند از (Bird, 2022):

-تلاش برای حل مسائل علمی با تکیه بر پارادایم علم عادی به جای به چالش کشیدن پارادایم؛

-اجماع نظر اعضای اجتماع علمی درباره روایی و پایایی نظریه‌ها، روش‌ها و اهداف علمی؛

---

1. Ziauddin Sardar
2. Futures
3. Welcome to Post-Normal Times
4. The Structure of Scientific Revolutions
5. Normal Science

–پیشرفت انباشتی[1] و تدریجی در علم و فعالیت‌های علمی که ناظر بر آن است علم عادی با انباشت آهسته دانش و شناخت در طول زمان تکوین می‌یابد و دانشمندان بر اساس کار پیشینیان خود، نظریه‌ها و مدل‌ها کشف علمی را به‌تدریج بهبود می‌بخشند؛

–پیشرفت علم از طریق پارادایم‌ها: علم عادی در یک پارادایم مسلط عمل می‌کند و پیشرفت با حل معماهای درون آن پارادایم حاصل می‌شود. این پارادایم ضمن ایجاد چارچوبی برای تحقیق علمی باعث می‌شود پیشرفت در علم عادی به اعتبار بخشیدن و تقویت بیشتر پارادایم کمک کند؛

–عینیت‌گرایی که ناظر بر تلاش دانشمندان برای کاهش سوگیری‌های ذهنی در تصمیم‌گیری و تکیه بر داده‌های تجربی و استدلال منطقی است؛

–تکرارپذیری که ناظر بر به توانایی دانشمندان علم عادی برای تکرار آزمایش‌ها و تأیید نتایج است.

در برابر نظریه علم عادی دیدگاه‌های دیگری در نقد آن مطرح شد مبنی بر آنکه علم عادی توماس کوون بر مشاهده تجربی، استفاده از روش‌های تجربی، استفاده از مدل‌های ریاضی برای توصیف طبیعی پدیده‌ها تأکید داشته و فرض می‌کند که دانش علمی عینی و بدون ارزش است. درحالی‌که واقعیت‌های جهان هستی همگی تأییدکننده این موضوع نیست (Boyle, 2021). آلوین واینبرگ[2]، سیلیو فونتویچ و جری ریوز از جمله نظریه‌پردازانی هستند که در ساحت فلسفه علم تلاش کردند بدیل‌های دیگری را برای برطرف ساختن فقدان‌های معرفتی علم عادی به دست دهند.

واینبرگ در مقاله‌ای با عنوان «علم و فرا علم[3]» استدلال کرد که سؤالات علمی خاصی وجود دارد که نمی‌توان از طریق روش‌های علم عادی مانند آزمایش‌های تجربی و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به آن‌ها پاسخ داد بلکه پاسخ به این سؤالات نیازمند فهم ملاحظات اجتماعی و اخلاقی است که خارج از ساحت علم عادی قرار دارند. به‌عنوان‌مثال، واینبرگ

1. Cumulative Scientific Progress
2. Alvin Weinberg
3. Science and Trans-Science

مطرح کرد که سؤالات مربوط به ایمنی و مقررات انرژی هسته‌ای موضوعاتی فراعلمی هستند، زیرا شامل قضاوت‌های ارزشی و تصمیم‌های سیاسی می‌شوند که نمی‌توان به صرف استفاده از ابزارهای علمی آن‌ها را فهم کرد و پاسخ داد. او معتقد بود که این پرسش‌ها نیازمند رویکردی گسترده‌تر و بین‌رشته‌ای است که نه تنها دانشمندان، بلکه سیاست‌گذاران، متخصصان اخلاق و نمایندگان مردم نیز در این فرایند باید مشارکت کنند (Weinberg, 1972).

در ادامه این جریان فکری مفهوم علم پساعادی در دهه ۱۹۹۰ توسط فونتویچ و رِیوِز، دو تن از متخصصان فلسفه علم کشور ایتالیا، مطرح شد. آن‌ها ضمن تأکید بر کارآمدی علم عادی در پاسخ به مسائل جامعه با تأکید بر آینده‌پژوهی این ادعا را مطرح کردند که علم پساعادی امکان گذار از محدودیت‌های علم عادی در مواجهه با مسائل پیچیده، دارای عدم قطعیت زیاد و ارزش‌مدار را به دست می‌دهد. متخصصان یادشده یادآوری می‌کنند که هیچ نسبت و سنخیتی میان نظریه علم پساعادی با پسامدرنیته یا پست‌مدرن وجود ندارد بلکه به‌طور خاص در برابر علم عادی موردنظر کوون مطرح شده است. رِیوِز مهم‌ترین خصوصیاتی که در تبیین لزوم به‌کارگیری علم پساعادی بر می‌شمارد عبارت‌اند از (Ravetz, 1999):

۱. تشخیص پیچیدگی: این موضوع ناظر بر توان علم پساعادی در فهم اصل پیچیدگی حاکم بر مسائل جوامع انسانی است. مسائلی از قبیل پایداری و سلامت محیط‌زیست را نمی توان به روابط علت و معلولی ساده و خطی تقلیل داد.

۲. تأکید بر اصل عدم قطعیت: مطابق این دیدگاه معرفت علمی موقتی و تحت تأثیر عوامل اجتماعی، سیاسی و اقتصادی است و با دستیابی به اطلاعات جدید در معرض تغییر قرار می‌گیرد. این موضوع به‌ویژه در تبیین مسائل پیچیده و عدم قطعیت‌های اجتماعی که ارائه پاسخ‌های قطعی و کامل اغلب امکان‌پذیر نیست، معنادار می‌شود. در این رویکرد، عدم قطعیت حذف نمی‌شود، بلکه مدیریت می‌شود.

۳. تعامل با ذینفعان: علم پساعادی بر اهمیت خِرَد جمعی ذینفعان مختلف مانند دانشمندان، سیاست‌گذاران، رهبران صنعت و افراد جامعه در طراحی و ارزیابی پاسخ‌های علم به مشکلات پیچیده جامعه تأکید دارد. مطابق این رویکرد مدل استدلال علمی استنتاج رسمی نیست، بلکه گفتگوی تعاملی است.

۴. رویکرد فرا رشته‌ای: این اصل ناظر بر همکاری بین‌رشته‌ای و ادغام اشکال مختلف دانش، از جمله دانش محلی و بومی در تصمیم‌گیری است. براین‌اساس علم پساعادی دیدگاه‌های متنوع متخصصان، صاحب‌نظران و ذی‌نفعان حوزه‌های متفاوت علمی، اجتماعی، فرهنگی و اخلاقی را برای پاسخ به مشکلات پیچیده با هم ادغام می‌کند. این در حالی است که در علم عادی علم تنها منبع قابل‌اعتماد دستیابی به شناخت بوده و سایر اشکال معرفت در تراز و مرتبه پایین‌تر قرار دارند.

۵. توجه به ارزش‌ها: مطابق این اصل تأکید می‌شود علم ساحت بی‌طرف و بدون ارزش نیست، بلکه عمیقاً تحت تأثیر ارزش‌ها و منافع کسانی است که در آن مشارکت می‌کنند. در نتیجه، علم پساعادی نیازمند مشارکت گسترده‌تر ذینفعان، از جمله مردم و کارشناسان حوزه‌های مختلف، در فرآیند تصمیم‌گیری است. علم پساعادی نقش ارزش‌ها و دیدگاه‌ها را در شکل‌دهی دانش علمی و تصمیم‌گیری تشخیص می‌دهد و آن‌ها را در فرآیند کشف علمی لحاظ می‌کند.

۶. پاسخگویی به زمینه: علم پساعادی انعطاف‌پذیر و پاسخگو به تغییر زمینه‌های اجتماعی و سیاسی است و با تحولات جدید و شرایط در حال تغییر سازگار است.

۷. ادغام علم و تصمیم‌گیری: علم پساعادی دانش علمی و تصمیم‌گیری را یکپارچه می‌کند، نه اینکه آن‌ها را به‌عنوان فرآیندهای مجزا در نظر بگیرد.

براین‌اساس علوم پساعادی ناظر بر گذار به پارادایم جدیدی است که در آن توان علوم عادی برای تبیین واقعیت‌های پیچیده، دارای عدم قطعیت بالا و چندساحتی و نیز تفسیر کلان‌داده‌ها و احصای الگوهای پنهان میان داده‌ها محدود است.

ب- هوش مصنوعی و علوم پساعادی: چهارچوب مفهومی

هوش مصنوعی با ارائه ابزارها و روش‌های جدید چرخه علم‌ورزی را متحول ساخته است؛ به عبارت روشن‌تر تعریف مسئله، تولید فرضیه‌ها، آزمایش نظریه‌ها و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به‌واسطه گسترش به‌کارگیری این فناوری به شکل مستمر در حال تغییر بوده و راه‌های جدیدی را برای تفکر درباره اکتشافات علمی به وجود آورده است (Havrda, 2020). برای تبیین این تغییر متخصصان از مفاهیم متفاوت بهره گرفته‌اند از قبیل: علم نوع ۴[1] و علوم‌داده‌مدار[2] (Tansley & Tolle, 2009)، علوم رها از نظریه[3] (Desai et al., 2022) و علم بزرگ[4].

پیشرفت علم داده‌مدار با تکیه بر در دسترس بودن حجم زیاد و فزاینده داده میسر شده است. این تحول حاصل نوآوری‌های به وجود آمده در تعبیه حسگرهای کم‌هزینه، افزایش قدرت محاسباتی، قابلیت ذخیره‌سازی و انتقال داده به شکل نامحدود امکان‌پذیر شده است. این حجم وسیع داده برای مهندسان و دانشمندان در همه رشته‌ها فرصت‌های جدیدی برای کشف مبتنی بر داده‌ها به وجود آورده است که از آن به‌عنوان پارادایم چهارم اکتشاف علمی در امتداد پارادایم‌های تجربه‌گرا[5]، نظریه‌گرا[6] و محاسباتی[7] یاد می‌شود (Brunton & Kutz, 2022).

کمک به دانشمندان در کشف فضاهای وسیع و پیچیده داده‌های علمی، سرعت بخشیدن به پردازش حجم زیادی از داده‌ها و احصای الگوها و همبستگی‌های ناآشکار و پنهان در کلان‌داده‌ها از جلوه‌های این تحول است. مفهوم سرندیپیتی[8] در علم به موضوع کشف غیرمنتظره و تصادفی الگوهای پنهان و ناشناخته دلالت دارد (Wareham, et al.

1. Science 4
2. Data-Driven Science
3. Theory-Free Science
4. Big Science
5. Empirical
6. Theoretical
7. Computational
8. Serendipity

2022:2). کشف تصادفی پنی‌سیلین در سال ۱۹۲۸ میلادی توسط الکساندر فلیمینگ[1] یکی از مصادیق مهم سرندیپیتی در علوم سلامت محسوب می‌شود (رضایی، ۱۳۹۷: ۴۹۳).

هیوآکی کیتانو[2]، از متخصصان ژاپنی هوش مصنوعی و مبدع نظریه ربات دانشمند، بر این نظر است که محدودیت‌هایی همچون زمان، بودجه، منابع انسانی و نیز رقابت‌پذیری در اکتشافات علمی باعث شده سنت طرح «سؤال درست» اهمیت بسیاری پیدا کند و همچنین هدایتگر فرایند پژوهش علمی باشد. کیتانو با طرح قاعده سرندیپیتی در علم تلاش می‌کند ذهن‌ها را معطوف به این موضوع کند که چگونه می‌توان کشفیات علمی تصادفی را گسترش داد؟ او با بهره‌گیری از دانش رایانه و طراحی الگوریتم رویکرد بروت-فورس[3] را مطرح می‌کند (Kitano, 2016: 40). در فارسی معادل‌هایی که برای این مفهوم مطرح‌شده از قبیل فراگیر یا جامع چندان گویای معنای رویکرد مذکور نیست.

به باور کیتانو با تکیه بر رویکرد بروت-فورس می‌توان به‌منظور فهم واقعیت‌ها هم‌زمان تعداد بسیار زیادی فرضیه را ارائه و آزمون کرد به شکلی که حین تأیید یک فرضیه بتوان محاسبات را برای پاسخ به سایر فرضیه‌های صحیح احتمالی ادامه داد. این تحول با روش علم عادی دانشمندمحور متفاوت خواهد بود. رویکرد بروت-فورس به کمک یادگیری ماشین روزبه‌روز تقویت‌شده و تاکنون پایه موفقیت دانشمندان در پاسخ به تعدادی از چالش‌های بزرگ را فراهم کرده است؛ بنابراین، با استفاده از قدرت محاسبات برای تولید و تأیید هرچه سریع‌تر طیف کاملی از فرضیه‌های منطقی ممکن، می‌توان ضمن کاهش مشکل محدودیت منابع جستجوی ایده‌های غیرمحتمل یا دور از ذهن[4] را نیز ادامه داد. چنین رویکردی به‌طور قابل‌توجهی ضرورت طرح سؤال درست را در اکتشافات علمی کم‌رنگ می‌سازد. منسوخ شدن تدریجی شهود علمی یکی از پیامدهای دیگر این روند است و حتی این امکان را برای اکتشافات علمی مهیا می‌سازد تا به سرندیپیتی در محاسبات دست پیدا کنند (Kitano, ibid: 47).

1. Alexander Fleming
2. Hiroaki Kitano
3. Brute-Force
4. Far-Fetched Ideas

بدین ترتیب هوش مصنوعی الگوی جدیدی از اکتشافات علمی را امکان‌پذیر ساخته است که در آن فرضیه‌ها به‌جای ابتنای بر مفروضات و تصورات از پیش تعیین‌شده از داده‌ها و الگوهای حاکم بر آن‌ها به دست می‌آیند. این رویکرد که به‌عنوان کشف علمی داده‌مدار[1] شناخته می‌شود (Wheeler, 2004).

مطابق این شیوه نوین پیشرفت علمی، عصر انجام آزمایش مستقیم بر واقعیت‌ها برای دستیابی به علم سپری شده است و عصر جمع‌آوری داده‌ها جایگزین آن شده است. کشف علمی به جای تکیه بر شواهد بر پردازش داده‌ها متمرکز شده است. براین‌اساس بسیاری از علوم سنتی به علم داده تبدیل‌شده است؛ بنابراین برخلاف رویه‌های مرسوم در اکتشافات علمی که دانشمندان جهان طبیعی را مشاهده و سپس قوانینی را برای تبیین پیچیدگی مشاهدات در قالب مفاهیم ساده‌تر فرض کرده‌اند شاهد استخراج الگوهای علمی از داده‌ها و گسترش تمایل به خودکارسازی هوشمند پیشرفت علم هستیم (King & Roberts, 2018: 123).

چنین تحولاتی آغازگر پیدایش نوع جدیدی از معرفت‌شناسی در علم است که در آن ماشین در تراز عامل انسانی در فرایند اکتشاف علمی و پیش بردن چرخه علم مشارکت دارد. «علم ۴.۰[2]» یا علم نوع چهارم یکی از مصادیق این تحول است به شکلی که علم به جای محدود شدن به آزمایشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی دولتی یا خصوصی به بخشی جدایی‌ناپذیر از جامعه تبدیل و در میان افراد جامعه توزیع و منتشرشده است. مطابق این دیدگاه در فرایند اکتشافات علمی هر یک از شهروندان می‌توانند به‌عنوان دانشمند ایفای نقش کنند و به زعم آدمن[3] و گاوندر[4] این تحول باعث نه تنها تسهیل پذیرش فناوری‌های جدید برای توسعه علم بهتر با مسئولیت‌پذیری بیشتر و فراگیرتر می‌شود بلکه فرهنگ علم و

1. Data Drive Scientific Discovery
2. Science 4.0
3. Odman
4. Govender

علم‌ورزی را متحول خواهد ساخت به شکلی که به‌سوی "علم باز[1]" حرکت خواهیم کرد (Odman & Govender, 2021).

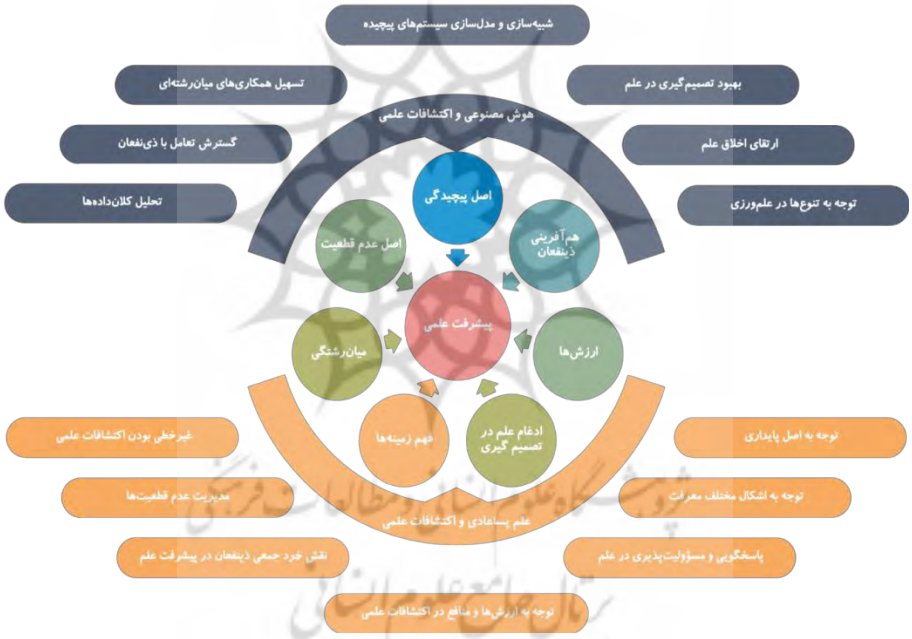
با توجه به ویژگی‌های گفته‌شده هوش مصنوعی امکان دستیابی به علم بزرگ را ایجاد کرده است. مهم‌ترین عوامل شکل‌دهنده به تحول مذکور آن است که هوش مصنوعی زمینه مناسب برای گسترش همکاری‌ها، به‌کارگیری مقیاس‌های بزرگ و اختصاص بودجه‌های هنگفت به اکتشافات علمی را مهیا ساخته است. علم بزرگ روش انجام اکتشافات علمی را متحول می‌کند. در این علم نمی‌توان به سرعت یک ایده را امتحان کرد و فهمید که چه اتفاقی رخ می‌دهد. حتی رسیدن به نقطه شروع یک آزمایش ممکن است میلیون‌ها یا حتی میلیاردها دلار هزینه داشته باشد (Watt, 2022).

برای مثال، در شتاب‌دهنده سِرن[2] در کشور سوئیس برخورددهنده بزرگ هادرونی[3]، یکی از مصادیق علم بزرگ است. در این برخورددهنده در هر ثانیه تریلیون‌ها پروتون که با سرعت ۹۹,۹۹ درصد سرعت نور حرکت می‌کنند دور حلقه شتاب‌دهنده آن می‌چرخند و توانایی مهندسی ۶۰۰ میلیون برخورد در هر ثانیه ایجاد شده است. وقتی دو پرتو پروتون با هم برخورد می‌کنند، دمایی بیش از ۱۰۰ هزار برابر گرم‌تر از قلب خورشید ایجاد می‌کنند که در یک فضای کوچک متمرکز شده است. برای جمع‌آوری داده‌های ۶۰۰ میلیون برخورد پروتون در ثانیه، فیزیکدانان و دانشمندان دستگاه‌هایی ساخته‌اند تا زمان عبور یک ذره را تا چند میلیاردم ثانیه اندازه‌گیری کنند. حجم داده‌های ثبت‌شده در این برخورددهنده در هر سال معادل یکصدهزار دیسک ویدئویی دیجیتال[4] دولایه است. این داده‌ها در ده‌ها هزار رایانه در سراسر جهان در یک شبکه محاسباتی نگه‌داری می‌شوند ($CERN_a$, 2023). بخش مهندسی در سرن از هوش مصنوعی به‌منظور گسترش اکتشافات علمی، تفسیر کلان‌داده‌ها، جلوگیری از خرابی تجهیزات، کارآمدتر، قابل‌اعتمادتر و خودمختارتر ساختن فرایند عملکرد شتاب‌دهنده‌ها استفاده می‌کند (CERNb, 2023).

1. Open Science
2. CERN Accelerator
3. Large Hadron Collider (LHC)
4. Digital Video Disc (DVD)

با توجه به نکات بیان‌شده در ادامه چهارچوب مفهومی تبیین چگونگی هم‌افزایی و اثربخشی هوش مصنوعی در تحقق علوم پساعادی مطابق شکل ۲ صورت‌بندی شده است. در این چارچوب با تکیه بر آثار و نیز نظریات صاحب‌نظران این حوزه علم پساعادی دایه‌مدار خصوصیات و نیروهای پیشرانی مشخص‌شده که باعث شده اکتشافات علمی به شیوه‌ای متمایز با علم عادی صورت گیرد. از طرف دیگر در نیم‌کرهٔ بالا مشخص‌شده که هوش مصنوعی واجد کدامین توان‌های علی و خصوصیاتی است که باعث تحقق علم پساعادی شده است.

شکل ۲. مدل مفهومی تعامل هوش مصنوعی و علم پساعادی در اکتشافات علمی



همچنان که مشاهده می‌شود مهم‌ترین خصوصیات علم پساعادی در اکتشافات علمی عبارت‌اند از: توجه به اصل پایداری، اشکال مختلف معرفت، پاسخگویی و مسئولیت‌پذیری، ارزش‌ها و منافع، خرد و عقلانیت دسته‌جمعی ذی‌نفعان، عدم قطعیت و غیرخطی بودن فرایند اکتشافات علمی. در این چارچوب متناظر با خصوصیات تعیین‌شده

برای علم پساعادی اثربخشی و کارکردهای هوش مصنوعی برای محقق ساختن اکتشافات علمی در سایه خصوصیات علم پساعادی در قالب چند محور مشخص شده است شامل: شبیه‌سازی و مدل‌سازی، بهبود تصمیم‌گیری، ارتقای اخلاق، توجه به تنوع‌ها، تسهیل همکاری‌های میان‌رشته‌ای، گسترش تعامل با ذی‌نفعان و تحلیل کلان‌داده‌ها. در حلقه میانی این مدل وجوه اشتراک هوش مصنوعی و علم پساعادی بیان شده که باعث تحقق بخشی به شیوه‌ای نوین در اکتشافات و پیشرفت‌های علمی شده است شامل: اصل پیچیدگی، اصل عدم قطعیت، میان‌رشتگی، اهمیت فهم زمینه‌ها، ادغام علم در تصمیم‌گیری، ارزش‌ها و هم‌آفرینی ذی‌نفعان. مهم‌ترین ارکان این تعامل و ارتباط به شرح زیر مشخص شده است:

۱. شبیه‌سازی و مدل‌سازی: هوش مصنوعی امکان بهره‌مندی از روش‌های شبیه‌سازی و مدل‌سازی پیشرفته‌ای را مهیا ساخته که به کمک آن‌ها می‌توان سامانه‌ها و فرآیندهای پیچیده در فرایند اکتشافات علمی را مدل‌سازی کرد. این موضوع دانشمندان را قادر می‌سازد تا پدیده‌هایی را شبیه‌سازی کنند که به دلیل وجود حجم عظیمی از داده‌ها مطالعه تجربی آن‌ها دشوار یا غیرممکن است. ۲. بهبود تصمیم‌گیری: هوش مصنوعی به بهبود تصمیم‌گیری دانشمندان در فهم مسائل پیچیده کمک می‌کند. به‌عنوان‌مثال، هوش مصنوعی برای تجزیه‌وتحلیل حجم عظیمی از داده‌ها برای شناسایی فرضیه‌های امیدوارکننده به‌منظور فهم واقعیت‌های پیچیده استفاده می‌شود.

۳. ترویج اخلاق: هوش مصنوعی به رفع نگرانی‌های اخلاقی در علم کمک کرده است. به‌عنوان‌مثال، هوش مصنوعی می‌تواند برای اطمینان از عدم وجود تعصبات پنهان در اکتشافات علمی استفاده شود. همچنین می‌توان از هوش مصنوعی برای اطمینان از پایبندی ادعاها و شواهد علمی به اصول اخلاقی و راستی‌آزمایی آن‌ها استفاده کرد.

۴. توجه به تنوع: هوش مصنوعی امکان تجزیه‌وتحلیل مجموعه داده‌های بزرگ از منشأ و زمینه‌های متفاوت را مهیا می‌سازد. برای مثال اگر درباره رابطه سواد و جرم و بزه‌های اجتماعی به دنبال کشف علمی هستیم هوش مصنوعی امکان‌هایی برای در نظر گرفتن نقش و سهم سایر عوامل مرتبط یا غیرمتبط با موضوع مشتمل بر عوامل

زیست‌محیطی، اقتصادی، فرهنگی، فناورانه و سیاسی را نیز مهیا می‌سازد که در موضوع کشف علمی نقش تعیین‌کننده‌ای می‌توانند داشته باشند.

۵. تسهیل همکاری‌ها: هوش مصنوعی از بسیاری جهات همکاری‌های علمی را تقویت می‌کند مشتمل بر: دسترسی به داده‌های مشترک، الگوریتم‌های مشترک و پلتفرم‌های مبتنی بر شبکه و نیز تسهیل ارتباط و به اشتراک‌گذاری دانش به کمک هوش مصنوعی میان گروه‌های پژوهشی.

۶. گسترش تعامل میان ذینفعان علم: هوش مصنوعی امکان کنشگری متنوعی را برای ذی‌نفعان متفاوت در فرایند اکتشافات علمی مهیا می‌سازد که ممکن است بسیاری از آن‌ها خارج از حصارها و مرزهای اجتماعات علمی و آکادمیک باشند. برای مثال در بستر توسعه علوم شهروندی[1] و علم باز از هوش مصنوعی برای کمک به علاقه‌مندان تحلیل مجموعه داده‌های بزرگ برای کشف بینش‌های جدید استفاده می‌شود. براین‌اساس هوش مصنوعی ابزارهایی را به دست می‌دهد که امکان دانش‌ورزی را برای افراد غیرمتخصص مهیا می‌سازد و این موضوع زمینه‌سازی مشارکت گسترده‌تر افراد در فرایند اکتشافات علمی و به تبع آن تحول در اولویت‌ها، سیاست‌گذاری و بحث‌های عمومی درباره پیشرفت‌های علم و فناوری را امکان‌پذیر می‌سازد.

۷. تجزیه‌وتحلیل کلان داده‌ها: هوش مصنوعی از یادگیری ماشینی گرفته تا یادگیری عمیق، ابزارهای جدیدی را در اختیار دانشمندان قرار داده است تا الگوهای حاکم بر کلان‌داده‌ها را شناسایی کنند، بینش‌هایی به دست آورند و اکتشافات جدیدی را در مجموعه داده‌های عظیمی انجام دهند که انسان به‌تنهایی قادر به درک آن نیست. این تجزیه‌وتحلیل کلان داده باعث سرعت بخشیدن به پیشرفت در تقریباً تمامی زمینه‌های علمی شده است.

1. Citizen Science Platforms

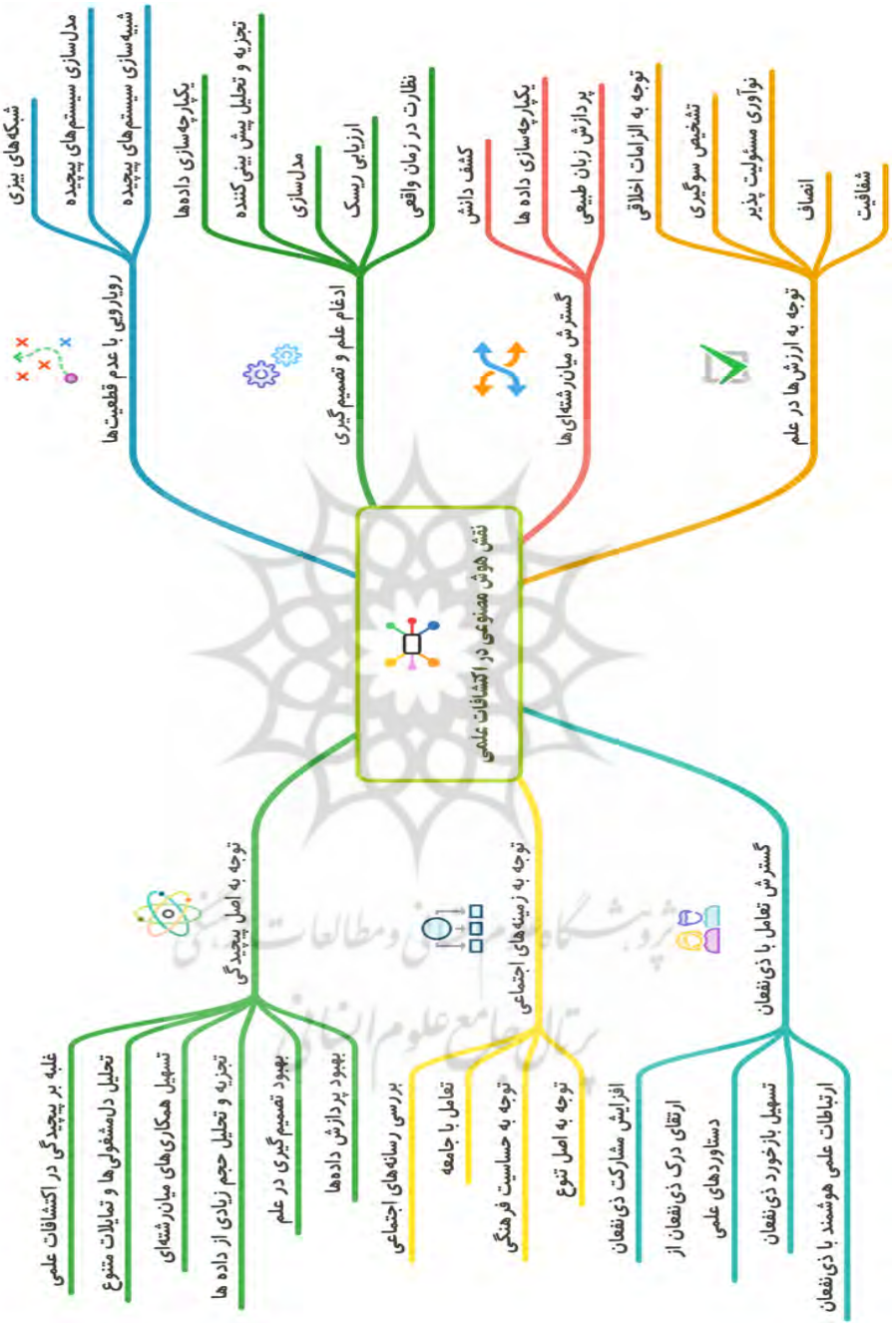
برای روشنگری لازم در ادامه عوامل یادشده به شکلی انضمامی و عینی ناظر بر تبیین چگونگی تأثیرگذاری هوش مصنوعی بر اکتشافات علمی و پیدایش علم پساعادی توضیح داده شده است.

یافته‌ها

آینده پیشرفت علم با توسعه و به‌کارگیری هوش مصنوعی ارتباط تنگاتنگی پیدا کرده است. تاریخ اکتشافات علمی بیانگر آن است که علم به‌ندرت فراتر از آنچه دانشمندان می‌توانند مشاهده و اندازه‌گیری کنند پیش می‌رود و در برخی از موارد مشاهده‌پذیری واقعیت‌ها پیشتاز درک علمی متعارف است. برای مثال هوش مصنوعی امکان تبدیل داده‌های حاصل از تماشای واقعیت‌های مشاهده‌پذیر به علم را شتاب بخشیده به شکلی که امروزه بسیاری از کنش‌های فردی و بین فردی در فضاهای حقیقی و مجازی به صورت مستمر در حال دیجیتالیزه شدن است و این موضوع بستر مناسبی برای انجام پژوهش‌های علمی به دست می‌دهد (Lazer et al, 2021: 189). نقش هوش مصنوعی در اکتشافات علمی مطابق دیدگاه ساختار-کارگزار بیانگر تحول طیف متنوعی از ساختارها و کنشگری کارگزاران در فرایند پیشرفت علم است.

این تحول در ادامه مطابق شکل ۳ و بر پایه رهیافت علم پساعادی تبیین شده است؛ به عبارت روشن‌تر ذیل علوم پساعادی امکان‌ها و ظرفیت‌های متفاوتی برای پیشرفت علم مهیا می‌شود که در ساحت علم عادی همواره دانشمندان را با تنگنا در ابزار، روش‌شناسی و اجرای پژوهش روبه‌رو ساخته بود.

شکل ۳. چارچوب مفهومی نقش هوش مصنوعی در اکتشافات علمی



توجه به اصل پیچیدگی، رویارویی با عدم قطعیت‌ها، توجه به نقش زمینه‌های اجتماعی، گسترش تعامل با ذی‌نفعان متفاوت و متنوع، ادغام پیشرفت‌های علمی در فرایند تصمیم‌گیری، گسترش میان‌رشته‌ای‌ها و توجه به نقش ارزش‌های در دستیابی به پیشرفت‌های علمی از موضوعاتی است که ذیل علم پساعادی امکان دستیابی به آن‌ها از حیث مفهومی و روش‌شناسی مهیا شده است. با توجه به این موضوع ایدهٔ اصلی مقاله بررسی نقش هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری فناورانه در تحققبخشی موضوعات یاد شده است. ازاین‌رو در ادامه با تکیه بر بررسی پژوهش‌های انجام‌شده هم در حوزه هوش مصنوعی و علم‌ورزی و هم در حوزه علوم پساعادی مطابق شکل ۳ چگونگی اثربخشی هوش مصنوعی در متحول ساختن اکتشافات علمی به شیوه‌ای غیرمعمول و متفاوت با علوم عادی توضیح داده شده و متناظر با هر یک از موضوعات و زیرموضوعات مشخص‌شده در شکل بالا توضیح داده شده است:

۱-۳. توجه به اصل پیچیدگی در پیشرفت علم: هوش مصنوعی می‌تواند به غلبه بر پیچیدگی در فرایند اکتشافات علمی به شیوه‌های زیر کمک کند:

– تجزیه‌وتحلیل حجم زیادی از داده‌ها برای دستیابی به شناخت علمی: یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در اکتشافات علمی، حجم انبوه داده‌هایی است که محققان باید آن را تجزیه‌وتحلیل کنند. با کمک روش‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشینی و داده‌کاوی، می‌توان حجم زیادی از داده‌ها را به‌سرعت و به شیوه‌ای کارآمد تجزیه‌وتحلیل کرد. این موضوع به محققان کمک می‌کند تا الگوها و روابطی را شناسایی کنند که تشخیص آن‌ها با استفاده از روش‌های تحلیلی سنتی دشوار است. برای مثال همچنان که اشاره شد «برخورددهنده بزرگ هادرون (LHC)» داده‌هایی را با نرخ‌هایی در مقیاس‌های بزرگ از قبیل اگزابایت[1] تولید می‌کند. آزمایش‌های LHC بر روی ذره بنیادین بوزون

۱. Exabyte: هر اگزابایت برابر ۱۰۰۰ پتابایت است و هر پتابایت برابر ۱۰۰۰ ترابایت است.

هیگز[1] در سال ۲۰۱۷ منجر به بایگانی‌سازی حجم ۲۰۰ پتابایت اطلاعات شد که معادل ۳۰۰۰ سال پخش ویدیویی باکیفیت بسیار بالا است (Fagnan, 2019: 6).

تلسکوپ هابل[2] هر هفته حدود ۱۲۰ گیگابایت اطلاعات علمی را به زمین ارسال می‌کند. تلسکوپ جیمز وب[3] هر هفته حدود ۵۰ ترابایت یعنی بیش از ۴۰۰ برابر تلسکوپ هابل داده به زمین منتقل می‌کند (PopSci, 2022). تعداد مقالات مجلات هر ۹ سال دو برابر می‌شود. ۳,۵ میلیون مقاله تنها در سال ۲۰۱۷ منتشرشده است ((Beer, 2019. او. ای.سی.دی[4] در گزارشی اعلام کرده است که امروزه دانشمندان با انبوهی از داده‌ها و اطلاعات روبه‌رو شده‌اند. در علم زیست‌پزشکی یک دانشمند به‌طور متوسط حدود ۲۵۰ مقاله در سال می‌خواند این در حالی است که در همین حوزه تخصصی بیش از ۲۶ میلیون مقاله منتشرشده وجود دارد. ازاین‌رو افراد و نهادهایی که موفق شوند از فناوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی استفاده کنند امکان نوآوری‌های آن‌ها دو برابر می‌شود (OECD, 2020: 22).

نکته دیگر در رویارویی با کلان‌داده‌ها آن است که تربیت یک دانشمند انسانی نیازمند بیش از ۲۰ سال آموزش و تخصیص منابع مادی و معنوی بسیار است. دانشمندان انسانی دانش را به آرامی از طریق آموزش و تجربه کسب می‌کنند درحالی‌که ربات‌ها می‌توانند با سرعت بالا به‌طور مستقیم دانش را از یکدیگر جذب کنند و در مقایسه با دانشمند انسانی به مدت‌زمان بسیار اندکی برای آموزش نیاز دارند. همچنین ربات‌ها می‌توانند طولانی‌تر و سخت‌تر از انسان کار کنند و نیازی به استراحت یا تعطیلات ندارند (King & Roberts, 2018:126).

– به‌کارگیری سیستم‌های شبیه‌سازی‌شده: از حیث مقیاس زمانی شبیه‌سازی و مدل‌سازی تعداد فعل‌وانفعالات اثرگذار بر کشف علم توانایی مطالعه سیستم‌های دینامیکی

1. Higgs Boson
2 Hubble
3 James Webb
4 OECD

پیچیده را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. این پیشرفت‌ها حاصل بهبود هم‌زمان الگوریتم‌ها و سخت‌افزارهای تخصصی در حوزه هوش مصنوعی است. دستاورد این پیشرفت سرعت بخشیدن مستمر به درک علمی کارگزاران علمی در فرایند کشف دانش است (Krenn et al., 2022). در سال ۲۰۲۰، محققان مغز مگس را مطالعه کردند تا از این طریق درباره نحوه عملکرد مغز انسان دانش بهتری به دست آورند. آن‌ها موفق شدند کمتر از یک سال با استفاده از هوش مصنوعی نقشه اتصال صد هزار نورون در شبکه اعصاب مغز مگس را بسازند؛ این در حالی است که در دهه ۱۹۷۰، محققان حدود ده سال طول کشید تا بتوانند حدود سیصد نورون را در مغز یک کِرم ترسیم کنند (Dean, 2022: 62-63).

– مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده: بسیاری از اکتشافات علمی شامل درک سیستم‌های پیچیده، مانند اکوسیستم‌ها، سیستم‌های آب و هوایی یا مسیرهای بیولوژیکی است. تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند مدل‌سازی مبتنی بر عامل و تحلیل شبکه را می‌توان برای مدل‌سازی این سیستم‌های پیچیده مورداستفاده قرارداد و این پیشرفت به محققان این امکان را می‌دهد تا رفتار سیستم‌های پیچیده را در شرایط مختلف شبیه‌سازی و پیش‌بینی کنند (Gil et al., 2021).

– بهبود پردازش داده‌ها: در بسیاری از زمینه‌های علمی ازجمله زیست‌شناسی، نجوم و فیزیک، محققان برای تجزیه‌وتحلیل‌های علمی به‌شدت به پردازش داده‌هایی همچون تصاویر و سیگنال‌ها متکی هستند. روش‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری عمیق می‌تواند به افزایش دقت پردازش تصویر و سیگنال کمک کند و استخراج اطلاعات معنادار از داده‌های تولیدشده را برای محققان آسان‌تر کند (Xu et al., 2021)

– بهبود تصمیم‌گیری: اکتشافات علمی اغلب شامل تصمیم‌گیری‌های دشوار بر اساس داده‌های ناقص یا نامطمئن است. تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند درخت‌های تصمیم‌گیری[1] و شبکه‌های بیزی[2] می‌توانند با ارائه یک رویکرد ساختاریافته و منطقی برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به بهبود تصمیم‌گیری کمک کنند (Smith & Wong, 2022).

1 Decision Tree
2 Bayesian Networks

مانیکا[1] با بیان تجارب به‌دست‌آمده از فناوری جی.پی.تی.تری[2] که توسط شرکت اوپن ای. آی ایجاد شده این تحول را توضیح می‌دهد. به زعم او فناوری جی.پی.تی.تری از ۱۷۵ میلیارد پارامتر تشکیل شده و روی مجموعه داده‌های متنی بزرگ با صدها میلیارد کلمه از قبل آموزش داده شده است. جی.پی.تی.تری قادر است به هر زبان طبیعی عبارات یا جمله‌های ناقص را که حتی از پیش برای آن آموزش داده نشده است، تکمیل کند. این فناوری قابلیت‌هایی را در کارهای مختلفی ازجمله تولید محتوا یا کد، خلاصه‌سازی، بسط مفهومی، مکالمه، نوشتن خلاق و ترجمه نشان داده است (Manyika, 2022:378).

– تسهیل همکاری: در بسیاری از زمینه‌های علمی، اکتشافات از طریق همکاری بین محققان با تخصص و دیدگاه‌های مختلف صورت می‌گیرد. ابزارهای هوش مصنوعی مانند پردازش زبان طبیعی و نمودارهای دانش[3] می‌توانند به تسهیل همکاری با محققان از طریق به اشتراک‌گذاری و دسترسی آسان‌تر به اطلاعات کمک کنند (Jarrahi et al., 2023).

۲-۳. نقش هوش مصنوعی در رویارویی با عدم قطعیت‌ها در علم: هوش مصنوعی نقش مهمی در حل عدم قطعیت علمی دارد. در فرایند اکتشافات علمی عدم قطعیت علمی زمانی به وجود می‌آید که دانش، داده یا شواهد کافی در اختیار نباشد. هوش مصنوعی می‌تواند با تجزیه‌وتحلیل حجم وسیعی از داده‌ها، شناسایی الگوها و روابط به غلبه عدم قطعیت کمک کند (Alizadehsani et al., 2021). برخی از مهم‌ترین مصادیق مرتبط با این موضوع عبارت‌اند از:

– شبیه‌سازی: شبیه‌سازی یکی از کاربردهای هوش مصنوعی در رویارویی با عدم قطعیت در تحقیقات علمی است. ابزارهای شبیه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند بینش‌های مؤثری درباره مسائل علمی پیچیده در اختیار دانشمندان قرار دهند. به‌کارگیری شبیه‌سازی در زمینه‌های علمی شیمی، فیزیک و زیست‌شناسی نقش مهمی در گسترش

1 Manyika
2 GPT-3
3 Knowledge graph

اکتشافات علمی داشته است (Stevens et al., 2020). هوش مصنوعی می‌تواند سیستم‌های پیچیده فیزیکی، بیولوژیکی و اجتماعی را شبیه‌سازی کند و به محققان این امکان را می‌دهد تا قبل از انجام آزمایش‌های پرهزینه و زمان‌بر، فرضیه‌ها را در یک محیط مجازی آزمایش کنند. به‌عنوان‌مثال، مدل‌های آب و هوایی که از هوش مصنوعی استفاده می‌کنند به محققان کمک کرده‌اند تا تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر الگوهای آب‌وهوای جهانی را بهتر درک کنند.

– به‌کارگیری شبکه‌های بیزی: شبکه‌های بیزی محققان را قادر می‌سازد تا سیستم‌های پیچیده را مدل‌سازی، تحلیل و درباره رفتار آن‌ها پیش‌بینی کنند. این شبکه‌های می‌توانند به‌منظور بازنمایی و استدلال درباره رویدادهای نامشخص و دارای عدم قطعیت استفاده شوند. برای مثال استفاده از شبکه‌های بیزی در اکتشافات علمی در زمینه ژنتیک دانشمندان این حوزه را قادر ساخته حجم بالای داده‌های ژنومیک حاصل از توالی‌یابی را بررسی، روابط بین ژن‌ها را مشخص و الگوهای پنهان را برای شناسایی نشانگرهای ژنتیکی بیماری‌ها آشکار سازند (Peters et al., 2022).

۳-۳. هوش مصنوعی و ادغام علم و تصمیم‌گیری: به‌کارگیری ابزارهای متفاوت هوش مصنوعی امکان تجزیه‌وتحلیل و ادغام داده‌های علمی در فرایند تصمیم‌گیری و درنتیجه اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه‌تر و مبتنی بر شواهد را مهیا می‌سازد. در ادامه برخی از مهم‌ترین مصادیق این موضوع توصیف شده است.

– یکپارچه‌سازی داده‌ها: یکپارچه‌سازی داده‌های حوزه‌های مختلف علمی از قبیل علوم آب‌وهوا، بوم‌شناسی، اقتصاد، بهداشت و سلامت به کمک هوش مصنوعی از عوامل تحول بخش اکتشافات علمی است. این ادغام می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا روابط پیچیده میان عوامل مختلف را شناسایی و به شیوه‌ای آگاهانه‌تر تصمیم‌گیری کنند (Pan, 2016). سرعت استقبال از ماشین‌ها و بهره‌برداری از آن‌ها در فرایند اکتشافات علمی موضوعی است که اهمیت رویکرد مذکور را بازنمایی می‌کند. به گزارش OECD در سال ۲۰۰۷ هیچ‌کس نمی‌توانست پیش‌بینی کند که ده سال بعد، بیش از یک میلیون نفر در

شرکت‌هایی کار می‌کنند که داده‌ها و تصاویر را برای سیستم‌های یادگیری ماشینی برچسب‌گذاری و حاشیه‌نویسی کنند و تعداد کمی می‌توانستند پیش‌بینی کنند که هوش مصنوعی تا چه اندازه در تولید فرضیه‌های علمی، مرور آثار علمی و سازمان‌دهی آزمایش‌های انجام‌شده توسط ربات‌ها پیشرفت خواهد کرد (OECD, 2020: 20).

– مدل‌سازی: شبیه‌سازی سیستم‌ها و فرآیندهای پیچیده نقش مهمی در سرعت بخشیدن و صرفه‌جویی در هزینه‌ها در اکتشافات علمی داد. برای مثال هوش مصنوعی به شیمیدانان اجازه می‌دهد تا تحقیقات خود را تا حدود ۹۰ درصد سرعت بخشند ((Falk, 2019. هوش مصنوعی با در اختیار قرار دادن ابزارهای شبیه‌سازی در حوزه‌هایی همچون تغییرات آب‌وهوا و پویایی‌های زیست‌بوم به تصمیم‌گیرندگان در شناسایی پیامدهای بالقوه تصمیمات مختلف و انتخاب بهترین تصمیم کمک می‌کند (Gunning & Aha, 2019).

– تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینی کننده: به‌منظور تجزیه‌وتحلیل مجموعه داده‌های بزرگ و شناسایی الگوها و روندهایی که مشاهده آن‌ها برای انسان امکان‌پذیر نیست ابزارهای هوش مصنوعی قابل‌استفاده هستند. این امکان می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا روندهای آینده اکتشافات علمی را پیش‌بینی و با توجه به پیامدهای آن تصمیمات آگاهانه‌تری را اتخاذ کنند (Schweyer, 2018).

– ارزیابی مخاطرات اکتشافات علمی: هوش مصنوعی امکان ارزیابی مخاطرات احتمالی مرتبط با پژوهش‌های علمی را به دست می‌دهد. این ارزیابی می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا پیامدهای خطرناک و زیان‌بار را شناسایی و راهبردهای مناسبی برای کاهش هزینه‌ها و تبعات آن‌ها اتخاذ کنند (Hegde & Rokseth, 2020).

– نظارت در زمان واقعی: هوش مصنوعی امکان نظارت بر داده‌های علمی در زمان واقعی برای اتخاذ تصمیم‌گیری سریع در برابر مسائل نوظهور را به دست می‌دهد (Bianchini, Müller & Pelletier, 2022). برای مثال ابزارهای هوش مصنوعی امکان مناسبی را برای شناسایی و تشخیص حملات و تهدیدات سایبری و فیزیکی در زمان واقعی ارائه می‌دهند (Stevens et al, 2020:10).

٤-٥. هوش مصنوعی و توجه به زمینه‌های اجتماعی: زمینه اجتماعی که تحقیقات علمی در آن انجام می‌شود پیچیده است و هوش مصنوعی می‌تواند به محققان کمک کند تا عوامل اجتماعی مختلفی را که می‌توانند بر فرآیند و نتایج تحقیق تأثیر بگذارند، درک کنند و به آن‌ها پاسخ دهند. برخی از مهم‌ترین مصادیق این موضوع عبارت‌اند از:

– بررسی رسانه‌های اجتماعی: هوش مصنوعی از حیث فنی ابزارهای مناسبی برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های منتشرشده در رسانه‌های اجتماعی دیجیتال دارد. این موضوع به احصای برداشت‌ها و نگرش‌های عمومی درباره پژوهش‌های علمی کمک می‌کند. پردازش چنین داده‌هایی از یک‌سو به محققان کمک می‌کند تا موانع اجتماعی پیش روی انجام پژوهش‌های علمی را شناسایی و راهبردهایی برای رفع آن‌ها ایجاد کنند و از سوی دیگر به گسترش ارتباطات علمی میان دانشمندان و سایر شهروندان کمک می‌کند (Habibi & Salim, 2021).

– تعامل با جامعه: از هوش مصنوعی برای تعامل با جوامعی که تحت تأثیر تحقیقات علمی قرار دارند استفاده کرد. این تعامل می‌تواند به محققان کمک کند تا دیدگاه‌ها و نگرانی‌های مختلف جامعه را درک کنند و استراتژی‌هایی را برای رسیدگی به آن‌ها و بهبود حال عمومی جامعه توسعه دهند (Ceccaroni et al., 2019). این تحول نظریه‌های علمی را وادار به روزآمدسازی می‌کند تا بتوانند با واقعیت‌های اجتماعیِ به‌سرعت در حال تغییر و ظرفیت‌های پیش رو برای یادگیری و بهره‌برداری همگام شوند (Bordallo et al, 2020).

– توجه به حساسیت فرهنگی: با توسعه ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توان حساسیت‌های فرهنگی و ارزشی مرتبط با فرایند اکتشافات علمی را احصا کرد به شکلی که اطمینان حاصل شود که پژوهش‌های علمی به‌گونه‌ای انجام می‌شود که به پیشینه‌ها و سنت‌های فرهنگی جاری در جامعه توجه دارد (Umbrello, 2019).

– توجه به ملاحظات اخلاقی: از هوش مصنوعی می‌توان برای تحلیل مفاهیم اخلاقی مرتبط با تحقیقات علمی استفاده کرد. این تجزیه‌وتحلیل به پژوهشگران کمک

می‌کند تا اطمینان حاصل کنند که پژوهش‌های آن‌ها به شیوه‌ای اخلاقی و مسئولانه و با تأکید بر صیانت از ارزش‌ها و حقوق همه ذینفعان مرتبط صورت می‌گیرد (Leslie, 2019). یکی از ابزارهای مؤثر هوش مصنوعی در این حوزه شبکه مولد تخاصمی[1] است. این پیشرفت در سال ۲۰۱۴ با هدف ارتقای یادگیری بدون نظارت در یادگیری ماشین توسعه داده شد. این شبکه‌ها ناظر بر دو الگوریتم هستند که هم‌زمان به‌طور خودکار، الگوهای موجود در داده‌های ورودی را کشف کرده و یاد می‌گیرند. این دو الگوریتم با نام‌های مولد[2] و متمایزگر[3] شناخته می‌شوند. این الگوریتم‌ها بر اساس رویکرد نظریه بازی‌ها بناگذاری شده‌اند. الگوریتم‌های مولد و متمایزگر برای بررسی، ضبط و تکرار تغییرات درون مجموعه داده با یکدیگر رقابت می‌کنند (Stevens et al, 2020, 9).

یک بخش از این الگوریتم داده‌های جعلی تولید کرده درحالی‌که بخش دوم هم‌زمان سعی می‌کند داده‌های جعلی را از داده‌های واقعی تشخیص دهد. شبکه مولد تخاصمی داده‌های جعلی تولید می‌کند تا متمایزگر توسط آن‌ها آموزش ببیند. مولد یاد می‌گیرد که داده‌های قابل‌قبول تولید کند. رقابت بین این دو شبکه درنهایت باعث یادگیری بهتر و بهبود عملکرد هر دو می‌شود (Falk, 2019). این پیشرفت در تشخیص سره از ناسره در پیشرفت‌های علمی نقش مهمی ایفا می‌کند (Lan et al,2020).

– توجه به اصل تنوع: شناسایی و رسیدگی به سوگیری‌های ممکن در روش‌های انجام پژوهش و اکتشافات علمی با بهره‌مندی از ابزارهای هوش مصنوعی باعث اطمینان بخشی در خصوص فراگیر بودن انجام پژوهش‌های علمی از حیث انعکاس دیدگاه‌ها و زمینه‌های مختلف می‌شود (Rathore, Mathur & Solanki, 2022).

۵-۵. نقش هوش مصنوعی در گسترش میان‌رشته‌ای‌ها: علوم و پژوهش‌های میان‌رشته‌ای ناظر بر هم‌آفرینی متخصصان از زمینه‌های علمی متفاوت درباره یک مشکل

1. Generative Adversarial Network (GAN)
2. Generator
3. Discriminator

مشترک است. هوش مصنوعی می‌تواند با ارائه ابزارها و تکنیک‌هایی که می‌توانند داده‌های حوزه‌های مختلف را تجزیه‌وتحلیل و ادغام کنند، ضمن تسهیل همکاری‌های بین تخصصی، محققان را قادر سازند تا تصمیمات آگاهانه‌تری بگیرند و بینش‌های جدیدی را کشف کنند. برخی از مهم‌ترین مصادیق این موضوع عبارت‌اند از:

– یکپارچه‌سازی داده‌ها: هوش مصنوعی می‌تواند برای ادغام داده‌ها از زمینه‌های مختلف از جمله زیست‌شناسی، شیمی، فیزیک و علوم اجتماعی استفاده شود. این ادغام می‌تواند به محققان کمک کند تا درک جامع‌تری از سیستم‌ها و فرآیندهای پیچیده ایجاد کنند که منجر به بینش‌ها و اکتشافات جدید علمی شود (Guo et al., 2021).

– کشف دانش: هوش مصنوعی می‌تواند مجموعه داده‌های بزرگ و پیچیده را از زمینه‌های علمی و تخصصی مختلف احصا و تجزیه‌وتحلیل کند تا الگوها و روابطی را که ممکن است تشخیص آن‌ها توسط انسان دشوار باشد، شناسایی کند. این تحلیل می‌تواند به محققان در کشف دانش جدید و ایجاد فرضیه‌هایی درباره سیستم‌ها و فرآیندهای پیچیده اکتشاف علمی کمک کند (Gomes, 2020). این موضوع باعث می‌شود ماهیت شهود و اکتشاف علمی بازتعریف شوند (Kitano, 2016: 39).

– پردازش زبان طبیعی[1]: پردازش زبان طبیعی مبتنی بر هوش مصنوعی نه تنها می‌تواند به غلبه بر موانع زبانی میان محققان رشته‌های مختلف کمک کند بلکه از آن می‌توان برای تفسیر معنای اصطلاحات فنی و تخصصی مورداستفاده در زمینه‌های مختلف استفاده کرد و به محققان این امکان را داد که کار یکدیگر را بهتر درک کنند و به‌طور مؤثرتری با هم همکاری کنند (Feder et al., 2022).

۶-۵. گسترش ارتباطات علمی: ابزارهای هوش مصنوعی به محققان کمک می‌کند داده‌های حوزه‌های مختلف را تجزیه‌وتحلیل، ادغام و دانش جدید کشف کنند. همچنین دانشمندان به کمک این فناوری می‌توانند فرضیه‌ها را توسعه دهند، تصمیمات آگاهانه

1. Natural Language Processing (NLP)

بگیرند، سیستم‌ها و فرآیندهای پیچیده را شبیه‌سازی و بر موانع زبان غلبه کنند. با انجام این کار، هوش مصنوعی می‌تواند ارتباطات علمی را تسریع کند و پاسخ به مبرم‌ترین مشکلات جهان را تسهیل کند (Piorkowski et al., 2022). سرعت بخشیدن به پژوهش‌های علمی و گسترش همکاری میان دانشمندان در سراسر جهان برای رویارویی و درمان بیماری همه‌گیر کرونا از مصادیق نقش هوش مصنوعی در تحول فرهنگ علم و افزایش همکاری‌ها در دسترسی به داده‌ها و درمان‌های مناسب است (Peng et al, 2020). حتی در برخی امور از قبیل دیپلماسی علم برخی از متخصصان تلاش کرده‌اند به کمک هوش مصنوعی اولویت‌های همکاری علمی را در تعامل با سایر کشورها شناسایی کنند. تجربه دیپلماسی علم و فناوری کشور کره جنوبی و مجارستان یکی از مصادیق این موضوع است (Yeo et al., 2020).

۷-۵. گسترش تعامل با ذی‌نفعان: هوش مصنوعی مشارکت ذینفعان در توسعه علم را تسهیل و تسریع کرده است (Chubb, Cowling & Reed, 2022). برخی از مهم‌ترین مصادیق این موضوع عبارت‌اند از:

- شناسایی و تجزیه‌وتحلیل دل‌مشغولی‌ها و تمایلات ذینفعان: تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند پردازش زبان طبیعی و تجزیه‌وتحلیل احساسات می‌تواند برای شناسایی و تجزیه‌وتحلیل نگرانی‌های گروه‌های مختلف ذینفع استفاده شود. با تجزیه‌وتحلیل حجم زیادی از داده‌ها از رسانه‌های اجتماعی، نظرسنجی‌ها و سایر منابع، هوش مصنوعی می‌تواند به شناسایی الگوها و روندها در نظرات و نگرانی‌های ذینفعان کمک کند (Hermann, 2022).

- ارتباطات علمی هوشمند ذی‌نفعان: گروه‌های ذینفع مختلف نیازها و ترجیحات ارتباطی متفاوتی را در فرایند اکتشاف علمی دنبال می‌کنند. هوش مصنوعی می‌تواند به ایجاد استراتژی‌های ارتباطی برای رفع این نیازها کمک کند. به‌عنوان‌مثال، هوش مصنوعی می‌تواند برای توسعه پیام‌های شخصی‌سازی‌شده که متناسب با نگرانی‌ها و علایق گروه‌های مختلف ذینفع است، استفاده شود (Xu et al., 2021).

– افزایش مشارکت ذی‌نفعان: هوش مصنوعی می‌تواند با توسعه ابزارهای مناسب مشارکت ذینفعان را در توسعه علم افزایش دهد. برای مثال، ربات‌های گفتگوی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند برای ارائه راهنمایی و پشتیبانی شخصی به ذی‌نفعان استفاده شوند. به‌طور مشابه، پلتفرم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند برای تسهیل گفتگوهای برخط مورداستفاده قرار گیرند و ذینفعان را قادر سازند تا با هم همکاری کنند و دیدگاه‌های خود را در زمان واقعی به اشتراک بگذارند (Miller, 2022). هوش مصنوعی باعث شده است علم بیش از هر زمانی مشارکتی و شبکه‌ای شود. به‌عنوان‌مثال، در سال ۲۰۱۵، محققانی که بر روی برخورددهنده بزرگ هادرونی کار می‌کردند، مقاله‌ای با رکوردشکنی ۵۱۵۴ نویسنده منتشر کردند (OECD, 2020: 21).

– بهبود بخشیدن به شناخت علمی ذی‌نفعان: هوش مصنوعی می‌تواند با ارائه توضیحات و توصیه‌های شخصی به بهبود شناخت ذی‌نفعان از پژوهش‌های علمی کمک کند. به‌عنوان‌مثال، سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند برای توضیح مفاهیم پیچیده علمی به‌گونه‌ای استفاده شوند که برای افراد غیرمتخصص قابل‌دسترس و قابل‌درک باشد (Hsu et al., 2022).

– تسهیل بازخورد ذی‌نفعان: هوش مصنوعی می‌تواند برای تسهیل بازخورد ذی‌نفعان در تحقیقات علمی استفاده شود. به‌عنوان‌مثال، سیستم‌های بازخورد مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند برای دریافت بازخورد ذینفعان درباره پیشنهادهای پژوهشی، مقالات و سایر بروندادهای علمی استفاده شوند. از این بازخورد می‌توان برای بهبود کیفیت و مرتبط بودن تحقیقات علمی استفاده کرد (Razack et al., 2021).

۸-۵. هوش مصنوعی و توجه به ارزش‌ها در علم: هوش مصنوعی می‌تواند در به‌کارگیری ارزش‌ها و ارتقای اخلاق علمی و درنتیجه انجام اکتشافات علمی به شیوه‌ای مسئولانه و اخلاقی کمک کند. برخی از مهم‌ترین مصادیق این موضوع عبارت‌اند از:

– تجزیه‌وتحلیل اخلاقی: به‌کارگیری هوش مصنوعی به‌منظور فهم آثار و پیامدهای اخلاقی به دانشمندان کمک می‌کند تا اطمینان حاصل کنند که تحقیقات آن‌ها به شیوه‌ای

اخلاقی و مسئولانه انجام می‌شود و عواقب منفی و ناخواسته آن مدیریت می‌شود (Wang, Xiong, & Olya, 2020). باید اطمینان حاصل شود سیستم‌های هوش مصنوعی به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که با ارزش‌ها و هنجارهای انسانی سازگار باشند و به کرامت، حفظ حریم خصوصی، امنیت داده‌ها و حقوق انسان احترام بگذارند و انسان در مدار[1] تصمیم‌گیری باشد (Mosqueira-Rey et al., 2022).

– تشخیص سوگیری و جانب‌داری‌ها در علم و ارتقای انصاف: هوش مصنوعی می‌تواند در تشخیص سوگیری‌ها در پژوهش‌های علمی استفاده شود به شکلی که نه‌تنها انجام تحقیقات به شیوه‌ای بی‌طرفانه، مبتنی بر ارائه نتایج قابل‌اعتماد و دقیق را بلکه دسترسی منصفانه به دستاوردهای علمی را نیز تضمین کند (Fletcher, Nakeshimana, & Olubeko, 2021). این امر مستلزم همکاری نزدیک بین دانشمندان، متخصصان علم کامپیوتر و متخصصان اخلاق است تا اطمینان حاصل شود که هوش مصنوعی به نفع علم و جامعه به‌عنوان یک کل استفاده می‌شود (Gabriel, 2020).

– شفافیت: هوش مصنوعی باعث ارتقای شفافیت در انجام پژوهش‌های علمی می‌شود. توسعه الگوریتم‌ها برای توضیح شیوه دستیابی به نتایج و ارائه شفافیت در مورد داده‌های مورداستفاده در تحقیق به این موضوع کمک می‌کنند (Warner & Sloan, 2021).

– نوآوری مسئولیت‌پذیر: هوش مصنوعی به انجام اکتشافات علمی به شیوه‌ای مسئولانه و پایدار کمک می‌کند. ذیل این موضوع تأثیر الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای کمک به اصل پاسخگویی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی در برابر جامعه و زیست‌بومی که قرار است نتایج حاصل از اکتشافات علمی در آنجا به کار گرفته شود مورد تأکید است (Ghallab, 2019).

1 Human in The Loop

بحث و نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی یک راه‌حل جادویی و نوشدارویی برای همه مشکلات علمی نیست. روایی و پایایی داده‌ها و معرفت حاصل از به‌کارگیری ابزارها و مدل‌های هوش مصنوعی فقط به اندازه داده‌هایی است که روی آن‌ها آموزش دیده‌اند و ازاین‌رو همیشه خطر سوگیری و خطا در داده‌ها یا الگوریتم‌های مورداستفاده وجود دارد. همچنین برای محققان مهم است که هنگام تفسیر نتایج تولیدشده توسط هوش مصنوعی، دیدگاهی انتقادی و شکاکانه داشته باشند و اطمینان حاصل کنند که آن‌ها از طریق انجام آزمایش‌هایی که انسان سکان‌دار علم‌ورزی است تأیید می‌شوند.

رعایت اصل گفته‌شده بهبود فرایند دانش‌وزی و دانشمندی با تأکید بر اصل مسؤولیت‌پذیری و پاسخگویی اجتماعی از طریق دسترسی به کلان‌داده‌ها در حوزه‌های متفاوت اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، زیست‌محیطی، فناورانه و ارزش‌ها از مهم‌ترین دستاوردهای به‌کارگیری هوش مصنوعی در علم است. مطابق این رویکرد برای مثال یک دانشمند حوزه زیست‌فناوری در کشور نمی‌تواند بدون توجه به ارزش‌ها، زمینه‌های فرهنگی و اجتماعی در مسیر پیشرفت یک‌جانبه و معطوف به بازار در حوزه تخصصی خود گام بردارد. وی با دسترسی به کلان‌داده و در تعامل با سایر ساختارها و کنشگران اجتماعی می‌تواند آثار و عدم‌قطعیت‌های پیشرفت‌های تخصصی خود را در جامعه برآورد کرده و در نقطه بهینه این فرایند که همان خیر عمومی و رفاه افراد جامعه است، علم‌ورزی و فن‌ورزی را پیشه کند.

مطابق این پارادایم اثربخشی به‌عنوان بخشی از وظایف یک دانشمند به‌طور فزاینده‌ای به کمک هوش مصنوعی متحول می‌شود به شکلی که دیگر شمارش تعداد انتشارات و استنادها نمی‌تواند تنها معیار برای فهم میان تأثیرگذاری، پاسخگویی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی دانشمندان باشد. ازاین‌رو مشارکت غیردانشمندان و مردم عادی در توسعه علم، جلوگیری از کج‌راهه‌رفتن نقش‌آفرینان حوزه علم، همگانی‌تر شدن علم از جمله مزایای

توسعه و به‌کارگیری هوش مصنوعی در فرایند اکتشافات علمی بوده که باعث شده است مردم به شکل روز افزونی از مزایای علم در زندگی خود بهره‌مند شوند.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در مقیاس بزرگ و تشخیص الگو به کمک ماشین‌ها امکان‌های بی‌نظیری را در فرایند اکتشافات علمی به دست داده است که پیش‌ازاین به دلیل نبود چنین دسترسی انتظار چنین نرخ رشد و پیشرفتی در علم عادی در میان نبود. در جهان مبتنی بر تولید انبوه داده‌ها، دانشمندان به حجم عظیمی از اطلاعات در حوزه‌های مختلف دسترسی پیدا کرده‌اند. امروزه الگوریتم‌های هوش مصنوعی به دانشمندان در استخراج بینش‌های ارزشمند، شناسایی الگوها و ایجاد فرضیه‌های جدید بر اساس این مجموعه داده‌ها کمک می‌کنند. این تغییر به‌سوی علم‌داده‌مدار باعث شده است رویکرد سنتی فرضیه محوری در علم عادی به چالش کشیده شود، زیرا هوش مصنوعی با احصای الگوها از داده‌ها و برقراری همبستگی میان آن‌ها آهنگ اکتشافات علمی را شتاب بخشیده و فراگیر ساخته است.

سامانه‌های هوش مصنوعی به‌عنوان میانجی همکاری‌های بین‌رشته‌ای را توسعه بخشیده و موضوع علم بزرگ را معنادار می‌سازند به شکلی که با ادغام دانش و تخصص در زمینه‌های مختلف امکان شناسایی پیچیدگی حاکم بر مسائل علمی نوین دارای ماهیت میان‌رشته‌ای مهیا شده است. این همکاری میان‌رشته‌ای، پیشرفت خطی علم عادی را مختل می‌کند، زیرا رویکرد یکپارچه‌تر و مشارکتی‌تر را برای حل مسئله تشویق می‌کند.

هوش مصنوعی در تحقیقات علمی ملاحظات اخلاقی و اجتماعی جدیدی را مطرح ساخته است که فهم و پاسخگویی به آن‌ها فراتر از محدوده علم عادی است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی ممکن است باعث گسترش سوگیری یا نابرابری در فرایند اکتشاف علمی شود و درنتیجه چالش‌های اجتماعی، قانونی و اخلاقی نوینی را پدیدار سازد که پاسخ به آن‌ها نیازمند بیرون آمدن از قالب‌های مرسوم علم عادی است.

نکته پایانی: از منظر آینده‌پژوهی اگر نتوان با اطمینان برآورد کرد که هوش مصنوعی جایگزین عامل انسانی در اکتشافات علمی خواهد شد اما به‌طورقطع می‌توان برآورد کرد

که آن دسته از دانشمندان و نهادهای علمی که در فرایند پیشرفت علمی از هوش مصنوعی بهره می‌برند جایگزین افراد و نهادهایی خواهند شد که دانش و مهارت بهره‌مندی از فناوری را در اختیار ندارند.

توصیه‌ها

تعالی یابی در حوزه هوش مصنوعی در نهادهای علمی کشور باید براساس فهم «وضعیت بلوغ در هوش مصنوعی» باید صورت گیرد تا معنابخش و هویت‌دار باشد و نقطه عزیمت برای نظام حکمرانی علم و نیز کنشگران و بازیگرانی که در این عرصه قصد کنشگری دارند مشخص شود. در این فرایند نهادهای علمی در طیفی از تلاش برای آشنایی با تغییرات برآمده از هوش مصنوعی در فرایند اکتشافات علمی تا بهره‌مندی عملی از فناوری هوش مصنوعی برای انجام اکتشافات علمی قابل دسته‌بندی هستند.

برحسب وضعیت بلوغ در هوش مصنوعی جامعه علمی ایران در آغاز مسیر دستیابی به آگاهی از اثربخشی هوش مصنوعی در فرایند توسعه و پیشرفت علم قرار دارد. در این گام بر لزوم دستیابی به شناخت و آگاهی درباره فناوری هوش مصنوعی و بهره‌مندی از آن در فرایند توسعه دانش و اکتشافات علمی تأکید می‌شود. ازاین‌رو در این مرحله انتظام‌بخشی ملی نظام حکمرانی علم نیازمند ارتقای «سواد هوش مصنوعی» است. این مدعی ناظر بر آگاهی‌بخشی و ترویج تغییرات شکل‌گرفته و در حال شکل‌گیری بر اثر نفوذ هوش مصنوعی در فرایند اکتشافات علمی نزد کنشگران نظام علم کشور است. این کنشگران در سطوح تحلیل سه‌گانه کلان، میانی و خرد قابل دسته‌بندی هستند. در سطح ملی (کلان): سیاست‌گذاران و تأمین‌کنندگان منابع مالی تحقیق و توسعه، در سطح نهاد (میانی): مدیران دانشگاه‌ها و مراکز علمی و در سطح فرد (خرد): پژوهشگران و کارکنان علمی و غیرعلمی موردتوجه هستند.

ORCID
Mohammad Hoseini Moghadam **https://orcid.org/0000-0001-9139-5658**

References

1. Alizadehsani, R., Roshanzamir, M., Hussain, S., Khosravi, A., Koohestani, A., Zangooei, M. H., ... & Acharya, U. R. (2021). Handling of uncertainty in medical data using machine learning and probability theory techniques: A review of 30 years (1991–2020). *Annals of Operations Research*, 1-42.
2. Bianchini, S., Müller, M., & Pelletier, P. (2022). Artificial intelligence in science: An emerging general method of invention. *Research Policy*, *5 1*(10), 104604.
3. Bird, Alexander, "Thomas Kuhn", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2022 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/thomas-kuhn/>.
4. Boyle, D. (2021). Analysing AI via Husserl and Kuhn How a Phenomenological Approach to Artificial Intelligence Imposes a Paradigm Shift. In *Responsible AI and Analytics for an Ethical and Inclusive Digitized Society: 20th IFIP WG 6.11 Conference on e-Business, e-Services and e-Society, I3E 2021, Galway, Ireland, September 1–3, 2021, Proceedings 20* (pp. 185-197). Springer International Publishing.
5. Brunton, S. L., & Kutz, J. N. (2022). *Data-driven science and engineering: Machine learning, dynamical systems, and control*. Cambridge University Press.
6. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.
7. Ceccaroni, L., Bibby, J., Roger, E., Flemons, P., Michael, K., Fagan, L., & Oliver, J. L. (2019). Opportunities and risks for citizen science in the age of artificial intelligence. *Citizen Science: Theory and Practice*, *4*(1).
8. $CERN_a$(2023). *Facts and Figures*. CERN. Retrieved April 28, 2023, from https://public-archive.web.cern.ch/en/lhc/Facts-en.html
9. $CERN_b$. (2023). AI at CERN. CERN Sparks. Retrieved April 28, 2023, from https://sparks.cern/index.php/ai-cern
10. Chubb, J., Cowling, P., & Reed, D. (2022). Speeding up to keep up: exploring the use of AI in the research process. *AI & society*, *37*(4), 14 39-1457.
11. Dessai, S. (2001). *Climate prediction: a probabilistic approach*. John Wiley & Sons.
12. Domingos, P. (2015). *The Master Algorithm: How the quest for the ultimate learning machine will remake our world*. Basic Books.
13. Du Pisani, J. A. (2006). Sustainable development–historical roots of the concept. *Environmental sciences*, *3*(2), 83-96.

14. Feder, A., Keith, K. A., Manzoor, E., Pryzant, R., Sridhar, D., Wood-Doughty, Z., ... & Yang, D. (2022). Causal inference in natural language processing: Estimation, prediction, interpretation and beyond. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, *10*, 1138-1158.
15. Fletcher, R. R., Nakeshimana, A., & Olubeko, O. (2021). Addressing fairness, bias, and appropriate use of artificial intelligence and machine learning in global health. *Frontiers in Artificial Intelligence*, *3*, 561802.
16. Funtowicz, S. O., & Ravetz, J. R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures*, 25(7), 739-755.
17. Funtowicz, S. O., & Ravetz, J. R. (1994). *Uncertainty and quality in science for policy*. Kluwer Academic Publishers.
18. Gabriel, I. (2020). Artificial intelligence, values, and alignment. *Minds and machines*, *30*(3), 411-437.
19. Ghallab, M. (2019). Responsible AI: requirements and challenges. *AI Perspectives*, *1*(1), 1-7.
20. Gil, Y., Garijo, D., Khider, D., Knoblock, C. A., Ratnakar, V., Osorio, M., ... & Shu, L. (2021). Artificial intelligence for modeling complex systems: taming the complexity of expert models to improve decision making. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, *11*(2), 1-49.
21. Gomes, C. P. (2020, May). AI for Advancing Scientific Discovery for a Sustainable Future. In *Proceedings of the 19th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems* (pp. 1-1).
22. Gonzales-Martinez, R. (2021). Data-driven, theory-driven science: artificial realities and applications to savings groups. ResearchGate. https://www.researchgate.net/profile/Rolando-Gonzales-Martinez/publication/353193477_Data-driven_Theory-driven_Science_Artificial_Realities_and_Applications_to_Savings_Groups/links/60ec6c2e16f9f313007c0021/Data-driven-Theory-driven-Science-Artificial-Realities-and-Applications-to-Savings-Groups.pdf
23. Gunning, D., & Aha, D. (2019). DARPA's explainable artificial intelligence (XAI) program. *AI magazine*, *40*(2), 44-58.
24. Guo, Y., Zhang, Y., Lyu, T., Prosperi, M., Wang, F., Xu, H., & Bian, J. (2021). The application of artificial intelligence and data integration in COVID-19 studies: a scoping review. *Journal of the American Medical Informatics Association*, *28*(9), 2050-2067.
25. Gusai, O. P., & Rani, A. (2022). Artificial Intelligence: Game Changer in Management Strategies. In *Decision Intelligence Analytics and the Implementation of Strategic Business Management* (pp. 45-52). Springer, Cham. World Economic Forum(2020). The Future of Jobs

Report 2020. Available at: https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/digest/

26. Havrda, M. (2020). Artificial intelligence's role in community engagement within the democratic process. *International Journal of Community Well-Being*, *3*(4), 437-441.
27. Hegde, J., & Rokseth, B. (2020). Applications of machine learning methods for engineering risk assessment–A review. *Safety science*, *12 2*, 104492.
28. Hermann, E. (2022). Artificial intelligence and mass personalization of communication content—An ethical and literacy perspective. *New media & society*, *24*(5), 1258-1277.
29. Hsu, Y. C., Verma, H., Mauri, A., Nourbakhsh, I., & Bozzon, A. (2022). Empowering local communities using artificial intelligence. *Patterns*, *3*(3), 100449.
30. Jarrahi, M. H., Askay, D., Eshraghi, A., & Smith, P. (2023). Artificial intelligence and knowledge management: A partnership between human and AI. *Business Horizons*, *66*(1), 87-99.
31. Khatib, O. (2017). Artificial intelligence in science and engineering. Communications of the ACM, 60(11), 72-82.
32. King, I. (2017). Artificial intelligence in scientific discovery. Journal of the Royal Society Interface, 14(131), 20170397.
33. Krenn, M., Pollice, R., Guo, S.Y. *et al.* On scientific understanding with artificial intelligence. *Nat Rev Phys* 4, 761–769 (2022). https://doi.org/10.1038/s42254-022-00518-3
34. Krenn, Mario, et al. "On scientific understanding with artificial intelligence." *Nature Reviews Physics* 4.12 (2022): 761-769.
35. Lan, Lan, et al. "Generative adversarial networks and its applications in biomedical informatics." *Frontiers in public health* 8 (2020): 164.
36. Leslie, D. (2019). Understanding artificial intelligence ethics and safety. *arXiv preprint arXiv:1906.05684*.
37. Liu, Y., & Yang, Y. (2020). Artificial intelligence in scientific discovery. Frontiers in Artificial Intelligence, 3(63), 1-17.
38. Manyika, J. (2022). Getting AI right: Introductory notes on AI & society. *Daedalus*, *151*(2), 5-27.
39. Miller, G. J. (2022). Stakeholder roles in artificial intelligence projects. *Project Leadership and Society*, *3*, 100068.
40. Mosqueira-Rey, E., Hernández-Pereira, E., Alonso-Ríos, D., Bobes-Bascarán, J., & Fernández-Leal, Á. (2022). Human-in-the-loop machine learning: a state of the art. *Artificial Intelligence Review*, 1-50.
41. Ng, A. (2017). Artificial intelligence and the future of science. Nature, 54 6(7657), 469-471.

42.Ng, A. (2018). *AI is the new electricity*. O'Reilly Media.
43.Olsson, C. B. (2018). Artificial intelligence in science: Current status, opportunities and challenges. Nature Communications, 9(1), 551.
44.Odman, C. & Govender, K. (2021). As the world changes, science does too, and that's a good thing. Nairobi Law Monthly. https://nairobilawmonthly.com/as-the-world-changes-science-does-too-and-thats-a-good-thing/
45.O'Reilly, T. (2017). The future of AI in science and research. Communications of the ACM, 60(11), 62-71.
46.Pan, Y. (2016). Heading toward artificial intelligence 2.0. *Engineering*, *2* (4), 409-413.
47.Paolillo, A., Colella, F., Nosengo, N., Schiano, F., Stewart, W., Zambrano, D., ... & Floreano, D. (2022). How to compete with robots by assessing job automation risks and resilient alternatives. *Science Robotics*, *7*(65), eabg5561.
48.Peng, Y., Liu, E., Peng, S., Chen, Q., Li, D., & Lian, D. (2022). Using artificial intelligence technology to fight COVID-19: a review. *Artificial Intelligence Review*, 1-37.
49.Peters, C., Higuera, A., Liang, S., Roy, V., Bajwa, W. U., Shatkay, H., & Tunnell, C. D. (2022). A Method for Quantifying Position Reconstruction Uncertainty in Astroparticle Physics using Bayesian Networks. *arXiv preprint arXiv:2205.10305*.
50.Piorkowski, D., Park, S., Wang, A. Y., Wang, D., Muller, M., & Portnoy, F. (2021). How ai developers overcome communication challenges in a multidisciplinary team: A case study. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, *5*(CSCW1), 1-25.
51.PopSci. (2022, February 8). The James Webb Space Telescope has started collecting its next round of data. Popular Science. https://www.popsci.com/science/james-webb-space-telescope-next-data/
52.Rathore, B., Mathur, M., & Solanki, S. (2022). An Exploratory Study on Role of Artificial Intelligence in Overcoming Biases to Promote Diversity and Inclusion Practices. *Impact of Artificial Intelligence on Organizational Transformation*, 147-164.
53.Ravetz, J. R. (2007). Post-normal science. Environmental Science & Policy, 10(6), 553-560.
54.Ravetz, I. R. (1999). What is post-normal science. Futures-the Journal of Forecasting Planning and Policy, 31(7), 647-654.
55.Razack, H. I. A., Mathew, S. T., Saad, F. A., & Alqahtani, S. A. (2021). Artificial intelligence-assisted tools for redefining the communication landscape of the scholarly world. *science editing*, *8*(2), 134-144.

56. Rivers, T. J. (2002). Progress and technology: their interdependency. *Technology in society*, *24*(4), 503-522.
57. Sahi, S. M. (2022). The Artificial Intelligence and Its Global Economic Growth Impact. *World Economics and Finance Bulletin*, *9*, 16-24.
58. Sahu, M., Gupta, R., Ambasta, R. K., & Kumar, P. (2022). Artificial intelligence and machine learning in precision medicine: A paradigm shift in big data analysis. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, *190*(1), 57-100.
59. Sardar, Z. (2010). Welcome to postnormal times. *Futures*, *42*(5), 435-444 .
60. Schweyer, A. (2018). Predictive analytics and artificial intelligence in people management. *Incentive Research Foundation*, 1-18.
61. Smith, C. J., & Wong, A. T. (2022, May). Advancements in artificial intelligence-based decision support systems for improving construction project sustainability: a systematic literature review. In *Informatics* (Vol. 9, No. 2, p. 43). MDPI.
62. Stevens, R., Taylor, V., Nichols, J., Maccabe, A. B., Yelick, K., & Brown, D. (2020). *Ai for science: Report on the department of energy (doe) town halls on artificial intelligence (ai) for science* (No. ANL-20/17). Argonne National Lab. (ANL), Argonne, IL (United States).
63. Tansley, S., & Tolle, K. M. (2009). *The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery* (Vol. 1). A. J. Hey (Ed.). Redmond, WA: Microsoft research.
64. Umbrello, S. (2019). Beneficial artificial intelligence coordination by means of a value sensitive design approach. *Big Data and Cognitive Computing*, *3*(1), 5.
65. Velarde, G. (2020). Artificial intelligence and its impact on the Fourth Industrial Revolution: A review. *arXiv preprint arXiv:2011.03044*.
66. Wang, J., Chen, Y., & Yang, Y. (2018). Artificial intelligence in science: Opportunities and challenges. Frontiers in Artificial Intelligence, 1(9), 1-12.
67. Wang, Y., Xiong, M., & Olya, H. (2020, January). Toward an understanding of responsible artificial intelligence practices. In *Proceedings of the 53rd hawaii international conference on system sciences* (pp. 4962-4971). Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS).
68. Warner, R., & Sloan, R. H. (2021). Making artificial intelligence transparent: Fairness and the problem of proxy variables. *Criminal Justice Ethics*, *40*(1), 23-39.
69. Weinberg, A. M. (1972). Science and trans-science. *Science*, *177*(4045), 211-211.

70. Wheeler, G. R., & Pereira, L. M. (2004). Epistemology and artificial intelligence. *Journal of Applied Logic*, *2*(4), 469-493.
71. Wield, D. (1997). Science, politics and ethics in the post-normal era. Science, Technology & Human Values, 22(1), 29-44.
72. Xu, Yongjun, Xin Liu, Xin Cao, Changping Huang, Enke Liu, Sen Qian, Xingchen Liu et al. "Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research." *The Innovation* 2, no. 4 (2021): 100179.
73. Yeo, W. D., Kim, S., Lee, B., & Noh, K. R. (2020). Data-Driven Approach to Identify Research Topics for Science and Technology Diplomacy. *The Journal of the Korea Contents Association*, *20*(11), 2 16-227. Habibi, S. A., & Salim, L. (2021). Static vs. dynamic methods of delivery for science communication: A critical analysis of user engagement with science on social media. *PLoS One*, *16*(3), e0248507

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناد به این مقاله: حسینی مقدم، محمد. (۱۴۰۲). هوش مصنوعی و آینده پیشرفت علمی: گذار از علم عادی به علم پساعادی، *مطالعات مدیریت کسب وکار هوشمند*، ۱۲(۴۵)، ۷۱-۱۱۶.

DOI: 10.22054/ims.2023.74099.2341

Journal of Business Intelligence Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License..