فصلنامه مهندسی مدیریت نوین
سال دهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

شناسایی مشخصه‌های انواع تحقیق و توسعه درهوش مصنوعی با رویکرد سیاست‌گذاری

صالح آچاک [۱]، عباس طلوعی اشلقی [۲]، رضا رادفر [۳]، عباس خمسه [٤]

چکیده

دستیابی به فناوری هوش مصنوعی نیازمند طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های تحقیق و توسعه است که هر کدام دارای مشخصه و ویژگی‌های متفاوتی است. هدف این مقاله شناسایی مشخصه‌های انواع تحقیق و توسعه در هوش مصنوعی است. این پژوهش با رویکرد ترکیبی (کیفی- کمی) انجام گرفت که در بخش کیفی آن ضمن مطالعه و مرور منظم مبانی نظری و ادبیات تحقیق و توسعه در هوش مصنوعی، ویژگی‌های آن به روش تحلیل محتوی استخراج گردید. سپس به منظور تعیین مصداق‌ها و جزئیات هر ویژگی با ۱۰ نفر از خبرگان دانشگاهی و مدیران آشنا به فرآیند تحقیق و توسعه در هوش مصنوعی مصاحبه انجام گرفت. در بخش کمی، به منظور اعتبار بخشی به یافته‌های کیفی، پرسشنامه‌ای براساس مقیاس لیکرت هفت درجه‌ای فازی تهیه و نظرات کارشناسان در مورد ویژگی‌های احصاشده جمع‌آوری گردید. داده‌های جمع‌آوری‌شده از پرسش‌نامه‌ها در دو دور، طبق فرآیند دلفی فازی، غربال و نهایی شد. یافته‌های این تحقیق با هدف سیاست‌گذاری در تحقیق و توسعه شامل ۸ مشخصه مجزا عبارتند از: جستجوی زمینه پژوهش، هدف عامل انجام پژوهش، خروجی مورد انتظار، معیار عملکرد، افق زمانی، تکنیک‌ها و روش‌ها، صلاحیت‌ها و مهارت‌های محققین، و اندازه تلاش پژوهشی.

واژگان کلیدی: تحقیق، توسعه، هوش مصنوعی، انواع تحقیق و توسعه، سیاست‌گذاری

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت تکنولوژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول). toloie@gmail.com

۳- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تاریخ وصول: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰**

مقدمه

تحقیق و توسعه در حوزه هوش مصنوعی در دهه‌های اخیر رشد چشمگیری داشته است. مرور ادبیات نشان داده که تحقیق و توسعه هوش مصنوعی یک زمینه چندرشته‌ای متکی بر تخصص در حوزه‌های مختلف از جمله علوم کامپیوتر، ریاضیات، مهندسی، علوم زیستی، شناختی و غیره است، که نیاز به همکاری مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی، بازیگران صنعت و زیست‌بوم ذیربط، نهادهای دولتی و سایر ذینفعان دارد. اثربخشی این همکاری در گرو شناخت فناوری، مشخص بودن نوع فعالیت‌های تحقیق و توسعه و تعریف نقش متولیان امر در هر حوزه می‌باشد.

هوش مصنوعی یک فناوری یا مجموعه‌ای از فناوری‌ها نیست بلکه یک مرز در حال تکامل از توانمندی‌های محاسباتی نوظهور است (and Meyer, Mc Corduck, 2004 2011)[1]. فناوری‌های یادگیری ماشین که در کانون هوش مصنوعی نوین هستند دارای استقلال بیشتر، ظرفیت یادگیری عمیق‌تر و غیرقابل درک‌تر از هر یک از ساخته‌های "هوشمند" فناوری اطلاعات هستند که پیشتر عرضه شده‌اند (Baird & Maruping, 2021)[2]. فناوری‌های اخیر هوش مصنوعی، که شامل ربات‌ها، خودروهای خودران، تشخیص چهره، پردازش زبان طبیعی و همه انواع عوامل مجازی هستند در انواع شگفت‌انگیزی از کاربردهای مساله‌ساز استقرار یافته‌اند. براساس یک برآورد، نیمی از کسب و کارهای اخیر برخی از اشکال این موج جدید از فناوری‌ها را تا سال ۲۰۲۰ بکار گرفته‌اند (Balakrishnan et al., 2020)[3] و برنامه‌های کاربردی آن‌ها رشد خارق‌العاده خود را تداوم می‌دهند.

این پیشرفت‌ها از این جهت مهم هستند که هوش مصنوعی امکانات غیر قابل انکاری برای بهبود زندگی مردم در زمینه‌های مختلف خانگی، مراقبت‌های بهداشتی، آموزش، اشتغال، سرگرمی، ایمنی و حمل و نقل فراهم نموده است (and Stone, et al., 2016 Rahwan et al., 2019)[4]. هوش مصنوعی فرصت‌های بی‌سابقه‌ای برای طراحی

[1] Mc Corduck, P. and Meyer, B.
[2] Baird & Maruping, 2021
[3] Balakrishnan, T. et al.
[4] Stone, P. et al. and Rahwan et al.

محصولات هوشمند، ابداع خدمات جدید، و اختراع مدل‌های کسب‌وکار نوین و شکل‌های سازمانی متنوع در اختیار کسب‌وکارها قرار می‌دهد (Agrawal, et al.,2019 , Townsend and Hunt, 2019 and Davenport et al., 2020)[1].

از سوی دیگر فعالیت‌های تحقیق و توسعه یک نیروی جدایی‌ناپذیر برای پیشبرد سریع هوش مصنوعی است. هر سال، دامنه وسیعی از افراد متخصص دانشگاهی، صنعت، دولت و جامعه مدنی و سازمان‌ها از طریق ارائه انبوهی از مقالات و گزارشات تحقیقاتی، همایش‌های علمی مربوط به هوش مصنوعی یا موضوعات فرعی مرتبط به آن، در تحقیق و توسعه هوش مصنوعی سهیم می‌شوند. ویژگی کلیدی دیگر تحقیق و توسعه در هوش مصنوعی که آن را متمایز از سایر تحقیقات علمی و فناورانه می‌نماید، بازبودن آن است. سالانه هزاران مطلب در وبسایت‌ها یا کنفرانس‌ها درباره هوش مصنوعی به صورت متن‌باز منتشر می‌شود. این بازبودن، همچنین به ماهیت متقابل و به هم پیوسته تحقیق و توسعه جهانی هوش مصنوعی مدرن کمک می‌کند (AI Index, 2022)[2].

بدون تردید امروزه دستیابی به فناوری هوش مصنوعی یکی از اولویت‌های ملی و کسب و کاری در بیشتر کشورهای دنیا است. کسب و کارهای خصوصی نیروی پیشران پیشرفت فنی در هوش مصنوعی هستند، و بخش بزرگی از تحقیق و توسعه مربوط به آن در دنیا از طریق تعداد کمی از شرکت‌های بزرگ فناوری انجام می‌شود. یک گزارش از موسسه مک‌کنزی که از ۳۵ شرکت عمده فناوری نظرسنجی کرده، نشان می‌دهد که آن‌ها ۱۸ تا ۲۷ میلیارد دلار بودجه داخلی برای توسعه هوش مصنوعی در سال ۲۰۱۶ هزینه کرده‌اند، و سایر شرکت‌ها ۸ تا ۱۲ میلیارد دلار به سرمایه‌گذاری و خرید شرکت‌های فعال در این حوزه اختصاص داده اند (Bughin, et al., 2017)[3]. شورای مشاورین علم و فناوری آمریکا پیش‌بینی می‌کند شرکت‌های آمریکایی تا سال ۲۰۲۵ سالانه بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار برروی تحقیق و توسعه هوش مصنوعی هزینه خواهندکرد (NSTC, 2020)[4]. علاوه بر این در بسیاری از کشورهای صنعتی و حتی در حال توسعه، دولت‌ها

[1] Agrawal, A. et al. and Townsend, A. M., & Hunt, R. A. and Davenport, T. et al.
[2] AI index
[3] Bughin, J. et al.
[4] National Science and Technology Council

اهداف و راهبردهای ملی برای توسعه این فناوری طراحی نموده‌اند که در راس آن‌ها برنامه‌های ارتقاء تحقیق و توسعه هوش مصنوعی گنجانده شده است. شورای ملی علم و فناوری آمریکا دولت‌ها را به عنوان کاربران اصلی و توسعه‌دهندگان کلیدی سامانه‌های هوش مصنوعی می‌داند که مسئولیت ویژه‌ای برای بکارگیری هوش مصنوعی به منظور بهره‌وری بیشتر و نوآورانه‌تر شدن کارها دارند (Eggers, et al., 2021)[1].

براساس پژوهش صورت‌گرفته در مرکز امنیت و فناوری‌های نوظهور[2]، آزمایشگاه‌های هوش مصنوعی در سراسر جهان به ویژه در آمریکای شمالی، اروپا و آسیا گسترده شده‌اند. اگر چه شکل‌گیری این فناوری در این آزمایشگاه‌ها صورت می‌گیرد، با این حال همه شرکت‌ها امور تحقیق و توسعه خود را در یک ساختار آزمایشگاهی انجام نمی‌دهند. به عنوان مثال، شرکت آمازون تحقیق و توسعه خود را با کار تیم‌های محصول خود ادغام می‌کند و هیچ آزمایشگاه مستقلی ندارد. در عوض، اَپل اطلاعاتی در مورد فعالیت‌های تحقیق و توسعه خود منتشر نمی‌کند. در حالی که حدود ۶۸ درصد از آزمایشگاه‌های هوش مصنوعی شرکت‌های بزرگ فناوری در ایالات متحده آمریکا خارج از آن مستقر شده‌اند، کارکنان بیشتر این شرکت‌ها در این کشور متمرکز شده‌اند. همچنین عمدتاً این شرکت‌ها بخش «تحقیق»[3] در فناوری هوش مصنوعی خود را در آمریکای شمالی و اروپا و بخش «توسعه»[4] آن را در سایر کشورهای دنیا دنبال می‌کنند. این شرکت‌ها به دلایل مختلف تصمیم می‌گیرند فعالیت‌های تحقیق و توسعه هوش مصنوعی خود را خارج از کشور انجام دهند که مهمترین دلیل آن دسترسی به افراد مستعد در مقیاس جهانی است (CSET, 2020).

لذا به نظر می‌رسد سیاست‌گذاری، تعیین راهبرد ملی، ساختار و نحوه سازمان‌دهی، بکارگیری منابع انسانی مستعد و ابزارها و روش‌های مورد نیاز تحقیق و توسعه در هوش مصنوعی، اساسی‌ترین چالش‌ها برای دستیابی و بهره‌برداری بهینه از این فناوری باشد. بر این اساس، سئوال اصلی این مقاله این است که چه نوع فعالیت تحقیق و توسعه‌ای و با

[1] Eggers, W. et al.
[2] Center for Security and Emerging Technology (CSET)
[3] Research
[4] Development

چه ویژگی‌هایی به منظور پاسخگویی و رفع چالش‌های فوق به ویژه در بخش سیاست‌گذاری، موثر است؟با در نظرگرفتن این موارد، این مقاله تلاش دارد ویژگی‌ها و مشخصات اصلی انواع تحقیق و توسعه در حوزه هوش مصنوعی را شناسایی نماید تا براساس آن بتوان برای تبیین برنامه‌های آتی توسعه زیست‌بوم و کسب و کارهای مرتبط در کشور، اطلاعات و الزامات تحقیق و توسعه هوش مصنوعی را در اختیار سیاست‌گذاران حوزه علم و فناوری قرارداد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۱. تحقیق و توسعه

یکی از معمول‌ترین سرچشمه‌های نوآوری فناورانه، تلاش خود شرکت‌ها در زمینه تحقیق و توسعه است. یونسکو فعالیت‌های تحقیق و توسعه را بخشی از فعالیت‌های نظام‌مندی تعریف کرده که با هدف تولید، توسعه، و کاربرد دانش علمی نوآورانه انجام شده و در همه حوزه‌های علم و فناوری قابل استفاده است (UNESCO, 1982)[1]. همچنین براساس دستورالعمل فراسکاتی[2] سازمان همکاری اقتصادی و توسعه[3]، تحقیق و توسعه مجموعه‌ای از فعالیت‌های بدیع، خلاقانه، توام با عدم قطعیت و نظام‌مند با قابلیت انتقال یا بازتولید هستند که به سه گروه تحقیقات پایه، تحقیقات کاربردی و توسعه تجربی تقسیم می‌شود (OECD, 2015).

تحقیق پایه، تلاشی است در راستای افزایش درک یک موضوع یا رشته بدون آنکه کاربرد تجاری معینی برای آن در نظر گرفته باشند. این تحقیق یک دانش علمی را پیش می‌برد که ممکن است پیامدهای تجاری درازمدتی داشته باشد. هدف تحقیقات کاربردی، افزایش درک یک موضوع است تا نیاز معینی برطرف شود. در صنعت این نوع تحقیق معمولاً اهداف تجاری مشخصی دارد. منظور از توسعه، فعالیت‌هایی است که دانش را برای تولید ابزارها، یا مواد یا فرآیندهای کسب و کار استفاده می‌کند. از این رو اصطلاح تحقیق و توسعه به طیفی از فعالیت‌ها اشاره دارد که از کاوش آغازین در یک قلمرو تا

[1] UNESCO
[2] Frascati Manual
[3] Organization for economic and cooperation development

کاربردهای تجاری معین آن را در بر می‌گیرد (Schilling, 2017)[1]. آمسدن و چانگ[2] در یک مطالعه تجربی با تفکیک تحقیقات دانشگاهی از تحقیقات شرکتی، دسته‌بندی دیگری برای فعالیت‌های تحقیق و توسعه ارائه داده‌اند که در آن تحقیقات علوم محض قبل از تحقیقات پایه قرار می‌گیرد و تحقیقات توسعه‌ای به دو بخش توسعه اکتشافی و توسعه پیشرفته تقسیم می‌گردد، و هر کدام از انواع تحقیق و توسعه فوق دارای ویژگی‌های مجزایی است. در ویژگی «جستجو» به آنچه محقق در پی آن است پرداخته می‌شود، در «اهداف پژوهش»، اهداف پروژه تحقیقاتی تعریف شده مشخص می‌گردد، «خروجی‌ها» محصول، خدمات، گزارش‌های تحقیقاتی و یا حق اختراع (پتنت) هستند. «معیارهای عملکرد» با شاخص‌های مالکیت فکری سنجیده می‌شوند، و «افق زمانی» حدود زمان لازم برای انجام پژوهش را بیان می‌کند. «تکنیک‌ها و ابزارها» نوع ابزارهایی نظیر فرمول‌های ریاضی و آماری، تحلیل داده‌ها و روش‌های تحقیق را مشخص می‌کنند. «شایستگی و مهارت‌ها» به مدارج تحصیلی و گواهینامه‌های مهارتی اشاره دارد و در نهایت ویژگی «اندازه تلاش پژوهشی»، حجم فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام آن نوع تحقیق و توسعه را مشخص می‌نماید (Amsden and Tschang, 2003).

مدیریت تحقیق و توسعه فرآیند تبدیل ورودی‌هایی نظیر ایده‌ها، فناوری‌ها، پروژه‌ها، منابع و داده‌های مختلف به خروجی‌هایی مثل محصول یا خدمت جدید، فرآیندهای تولیدی، راهکارهای یکپارچه و حق اختراع (پتنت) است. (Verstehen and Gestalten, 2018)[3]. در یکی از جدیدترین مطالعات در ترسیم خط سیر آینده مدیریت تحقیق و توسعه، شش موضوع خاص به شرح زیر مورد تاکید قرارگرفته است (Giulio Ferrigno et al., 2023)[4]:

۱- زیست‌بوم و سکوها[5]: این موضوع بر تکامل تحقیق و توسعه و نوآوری در فناوری‌های مختلف تمرکز داشته و بررسی می‌کند که چگونه زیست بوم‌ها و سکوهای دیجیتال، که اغلب به جای یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند، تسهیل‌گر

[1] Schilling, M
[2] Amsden A. and Tschang T.
[3] Verstehen, W; Gestalten, Z
[4] Giulio Ferrigno et al.
[5] Ecosystems and Platforms

بازیگران مرتبط برای دستیابی به یک هدف مشترک مانند ایجاد محصولات جدید یا فرصت‌های کارآفرینی هستند.

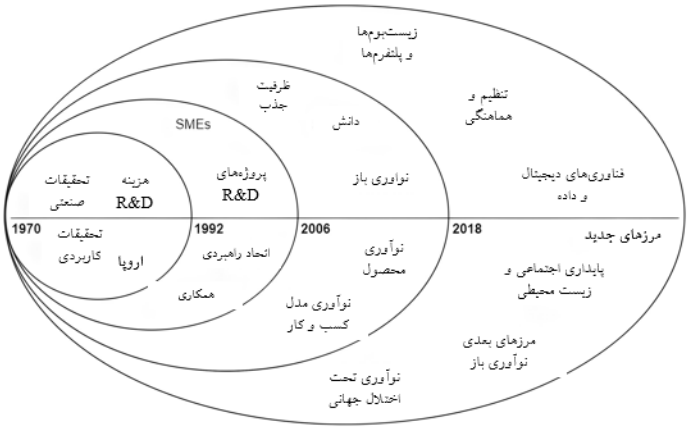
۲- تنظیم[1] روابط: این موضوع نوظهور نقش هماهنگی در فرآیندهای نوآوری را بررسی می‌کند، به ویژه اینکه چگونه رهبران زیست‌بوم‌ها و سکوها منابع، دانش و ذینفعان را سازماندهی و مدیریت می‌کنند. این رویکرد در مدیریت شبکه‌های نوآوری غیررسمی و پیمایش در محیط‌های پویا که با مشارکت‌های داوطلبانه شرکت‌کنندگان مختلف مشخص شده‌اند، حیاتی است.

۳- داده و فناوری‌های دیجیتال: به تأثیر تحول‌آفرین فناوری‌های دیجیتال بر تحقیق و توسعه و نوآوری می‌پردازد. اهمیت فزاینده فناوری‌های خاص مانند هوش مصنوعی، تجزیه و تحلیل پیشرفته، خودکارسازی و رباتیک را برجسته و تمرکز آینده بر نقش داده‌ها در سازمان‌ها و فرآیندهای نوآوری را پیش‌بینی می‌کند.

۴- پایداری اجتماعی و زیست محیطی: بر اهمیت رو به رشد پایداری اجتماعی و زیست محیطی در مدیریت تحقیق و توسعه تاکید می‌کند. این بخش موضوعاتی مانند تأثیر اجتماعی نوآوری باز، نقش تحقیق و توسعه در مدیریت بحران، نوآوری سبز، نوآوری زیست محیطی، و تمرکز نوظهور بر اقتصاد چرخشی (دایره‌ای)[2] و توسعه پایدار را پوشش می‌دهد.

۵- مرزهای بعدی نوآوری باز: دامنه در حال تحول نوآوری باز را از دریچه زیست بوم‌ها، فناوری‌های دیجیتال و بنیان‌های خرد سازمانی بررسی می‌کند. همچنین بر این نکته تاکید دارد که چگونه محققان از نوآوری باز سنتی به عنوان ورودی و خروجی، به دیدگاه زیست‌بوم تغییر می‌کنند، در حالی‌که نقش فناوری‌های دیجیتال و عوامل انسانی هم در آن بررسی می‌شود.

[1] Orchestration
[2] Circular economy



شکل(۱) روندها و مرزهای جدید در تحقیق و توسعه

۶- نوآوری تحت تحول (اختلال) جهانی[1]: این موضوع بررسی می‌کند که چگونه تحولات جهانی، مانند همه‌گیری کووید-۱۹ یا تنش‌های جغرافیای سیاسی، بر فرآیندهای نوآوری تأثیر می‌گذارند. همچنین بر نقش این تحولات در تأثیرگذاری بر زنجیره‌های تأمین جهانی، تصمیمات سرمایه‌گذاری و نوآوری در سطح شرکت و کشور تأکید نموده و تمرکز مداوم بر این موضوعات در آینده را پیش بینی می‌کند.

۲. هوش مصنوعی

دانشگاه استنفورد هوش مصنوعی را به عنوان شاخه‌ای از علوم کامپیوتر تعریف‌کرده که ویژگی‌های هوشمندی را از طریق ترکیب هوش مطالعه می‌کند (Stanford University, 2016)[2]. شورای ملی علم و فناوری آمریکا هوش مصنوعی را یک سامانه کامپیوتری‌شده می‌داند که رفتارهایی را به نمایش می‌گذارد که معمولا تصور می‌شود به هوش نیاز دارد (NSTC, 2020).

به طور طبیعی، حوزه هوش مصنوعی از پیشرفت ایجادشده در زمینه‌های مطالعاتی نظیر روان‌شناسی، اقتصاد، علوم اعصاب، زیست شناسی، مهندسی، آمار و زبان شناسی بهره برده است. به عنوان مثال، شبکه‌های عصبی در قلب چندین راهکار مبتنی بر هوش

[1] Global Disruption
[2] Stanford University

مصنوعی است (Silver et al., 2016)[1]، که در اصل از تفکر درباره جریان اطلاعات در عصب‌های زیستی الهام گرفته است. تعریف‌های جدیدتر بر جنبه‌های متفاوت هوش مصنوعی مثل توانایی یادگیری یا قابلیت شبیه‌سازی تاکید دارد (Castelvecchi, 2016)[2]، که چگونه با هدف تقلید از توانایی‌ها و مهارت‌های انسانی طراحی شده است (Brynjolfsson and Mitchell, 2017)[3]. در تعریف دیگری، هوش مصنوعی مرز پیشرفت‌های محاسباتی است که به هوش انسانی در رسیدگی به مشکلات تصمیم‌گیری پیچیده‌تر کمک می‌کند (Berente et al., 2021)[4]. این تعریف بر چند نکته تاکید می‌کند: اول، این‌که هوش مصنوعی یک مفهوم واحد و قابل تشخیص به این معنی که یک پدیده یا مجموعه‌ای از فناوری‌های مجزا باشد، نیست. دوم، این تعریف نشان می‌دهد که چگونه تصمیم‌گیری هسته اصلی درک نقش هوش مصنوعی در سازمان‌ها است (Metcalf et al.2019 and Shrestha et al., 2019)[5]. سوم، تمرکز تعریف بر تصمیم‌گیری نیز به صراحت رابطه بین هوش مصنوعی و رفتار انسان را در نظر می‌گیرد. با این حال، توانایی هوش مصنوعی در تقلید از تصمیم گیرندگان انسانی دارای محدودیت‌هایی است، به ویژه در مورد نوآوری. به عنوان مثال، وو و لو[6] دریافتند که هوش مصنوعی در تولید نوآوری‌های تحول آفرین دارویی کمتر کمک‌کننده است، اما برای شناسایی نوآوری‌های متوسط دارویی، به خوبی کار می‌کند (Wu and Lou, 2021). هوش مصنوعی به‌عنوان مرز پیشرفت‌های محاسباتی مشکلات تصمیم‌گیری پیچیده‌تر را حل می‌کند، و مدیران را در زمان نیاز به مقابله با مرزهای فعلی هوش مصنوعی تحت تأثیر قرار می‌دهد. این سه جنبه شامل استقلال، یادگیری، و غیرقابل تشخیص بودن هستند (Rahwan et al., 2019 , Glikson and Woolley, 2020 ,

[1] Silver et al.
[2] Castelvecchi
[3] Brynjolfsson and Mitchell
[4] Berente et al.
[5] Metcalf et al. and Shrestha et al.
[6] Wu and Lou

Kellogg et al., 2020 , Baird & Maruping, 2021 and Lyytinen et al., 2021)[1] که درجدول (۱) نمایش داده شده است.

جدول (۱) مفاهیم کلیدی هوش مصنوعی

مفهوم	تعریف
هوش مصنوعی	مرز پیشرفت های محاسباتی است که به هوش انسانی در رسیدگی به مشکلات تصمیم گیری پیچیده‌تر اشاره می‌کند.
ابعاد مرز هوش مصنوعی	
مرز عملکرد	انجام وظایف در حال بهبود مداوم که هوش مصنوعی برای آن‌ها بکارگرفته می‌شود.
مرز دامنه	دامنه در حال گسترش زمینه‌هایی که هوش مصنوعی در آن‌ها بکارگرفته می‌شود.
جنبه‌های هوش مصنوعی	
استقلال	عمل بدون دخالت انسان
یادگیری	بهبود از طریق داده‌ها و تجربه
غیرقابل تشخیص بودن	نامفهوم بودن برای مخاطبان متعدد

اشکال معاصر هوش مصنوعی ظرفیت فزاینده‌ای برای عمل به تنهایی (مستقل)، و بدون دخالت انسان دارند. در حالی که هم اکنون مشکلات اساسی در یادگیری تحت نظارت و بدون نظارت به خوبی درک شده است، پیشرفت‌های دیگر در مقیاس بزرگ، مانند یادگیری عمیق یا تقویتی (Sutton and Barto, 2018LeCun et al., 2015,)[2]، از طریق در دسترس‌بودن کلان‌داده امکان‌پذیر شده است (Chen et al., 2012 and Kitchin, 2014).[3]

[1] Rahwan et al., Glikson & Woolley, Kellogg et al., Baird & Maruping, and Lyytinen et al.
[2] LeCun et al., and Sutton, and Barto
[3] Chen et al. and Kitchin

براساس تحقیقات شرکت دیلویت[1] سامانه‌های هوش مصنوعی فعلی دارای چهار مشخصه اصلی شامل استدلال، حل مساله، کلان‌داده و یادگیری هستند. این موضوع نشان می‌دهد که تحقیق و توسعه در هوش مصنوعی نیازمند فعالیت‌های پژوهشی گسترده‌ای است، چرا که مبنای آن زیرساخت‌های فنی تولید و ذخیره‌سازی انبوهی از داده‌هایی است که از سیستم‌های اطلاعاتی مختلف، شبکه‌های اجتماعی، حسگرها و وبسایت‌ها است (کلان داده). در مرحله بعد با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های ریاضی و آماری مثل رگرسیون، درخت تصمیم و غیره داده‌های مذکور آماده‌سازی و تحلیل شده (توانایی استدلال) و زمینه یادگیری آن‌ها در قالب تکنیک‌های یادگیری ماشین نظیر یادگیری با و بدون سرپرستی و یادگیری تقویتی فراهم می‌گردد (توانایی یادگیری). در نهایت، سامانه‌های هوش مصنوعی نظیر: بینایی کامپیوتر، رباتیک و حرکت، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی، کسب دانش، تشخیص صدا و پردازش زبان طبیعی، توانایی احساس، استدلال، درگیرشدن با مساله و یادگیری را پیدا می‌کنند (Van Duin and Bakhshi, 2018)[2].

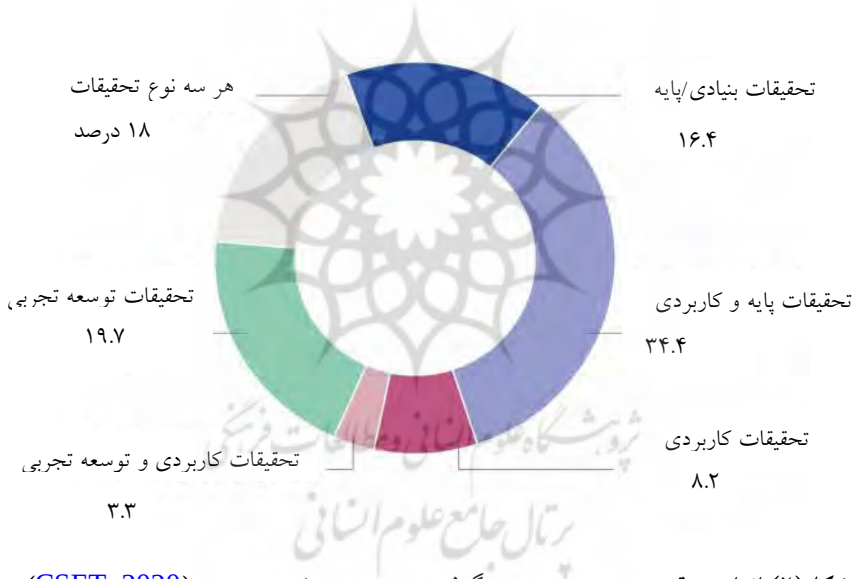
به منظور گروه‌بندی فعالیت‌های تحقیق و توسعه در آزمایشگاه‌های هوش مصنوعی به روش دستورالعمل فراسکاتی، منابع مختلفی بررسی گردید. تحقیقات پایه در هوش مصنوعی، بر گسترش دانش بنیادین و درک زمینه‌های آن متمرکز است. هدف آن کشف تئوری‌های جدید، اصول، یا مفاهیمی است که بتواند در حوزه‌های مختلف هوش مصنوعی به کار گرفته شود. ویژگی تحقیقات پایه اکتشاف مبتنی بر کنجکاوی، چارچوب‌های نظری و چشم‌انداز بلندمدت است. به عنوان مثال، محققین دانشگاه استانفورد، تحقیقات پایه را از طریق توسعه الگوریتم‌های یادگیری عمیق انجام می‌دهند که فرآیندهای شناخت انسانی را شبیه‌سازی می‌کنند (Santos et all, 2022).

تحقیقات کاربردی شامل استفاده از دانش موجود تحقیقات پایه برای حل مشکلات عملیاتی یا توسعه تکنولوژی‌های جدید مرتبط با هوش مصنوعی است. این پژوهش‌ها، از طریق بکارگیری یافته‌های علمی، شکاف بین تئوری و عمل را در کاربردهای دنیای

[1] Deloitte
[2] Van Duin and Bakhshi

واقعی پر می‌کنند. محققین کاربردی اغلب با همکاری شرکای صنعت یا سازمان‌ها برای رسیدگی به چالش‌های خاص یا بهبود سامانه‌های موجود کار می‌کنند. به عنوان مثال، گوگل دیپ مایند[1] از تکنیک‌های تحقیقات کاربردی برای ارتقای الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پردازش زبان طبیعی استفاده می‌کند (Kamath et al., 2019).

تحقیقات توسعه تجربی بر نمونه یا مدل‌های مبتنی بر اصول علمی از پیش اثبات شده برای مقاصد استقرار عملی در تکنولوژی هوش مصنوعی تمرکز دارد. این نوع از تحقیق و توسعه بر آزمون فرضیه‌ها از طریق مراحل آزمایشی تکراری با در نظر گرفتن کاربردهای عملی تأکید دارد. شرکت‌هایی مثل تسلا فعالیت‌های تحقیق و توسعه مرتبط را هنگام اصلاح فناوری خودروهای خودران انجام می‌دهند (Skoryatina & Zavalishina, 2022).



شکل(۲) انواع تحقیق و توسعه صورت گرفته در حوزه هوش مصنوعی (CSET, 2020)

براساس شکل (۲) بیشتر آزمایشگاه‌های مذکور (۴۱ الی ۶۲ آزمایشگاه) در حوزه تحقیقات پایه کار می‌کنند. هر چند که اغلب بیش از یک نوع تحقیقات را انجام می‌دهند و بیشتر از نصف این آزمایشگاه‌ها حداقل دو نوع این تحقیقات را انجام می‌دهند. یک

[1] Google’s DeepMind

بررسی جداگانه از آزمایشگاه‌های چند ملیتی تحقیق و توسعه در چین (که مختص هوش مصنوعی نیست) نشان می‌دهد که مشاهده هر سه نوع فعالیت تحقیق و توسعه در آزمایشگاه یک شرکت فناوری چند ملیتی، غیرعادی نیست (Yagnik, 2019)[1].

- تحقیقات پایه: مرکز تحقیقات هوش مصنوعی فیسبوک در حوزه تحقیقات پایه کار می‌کند. برخی از پیشرفت‌های اضافه شده به پلتفرم‌های متا (فیسبوک، اینستاگرام و واتساپ) از طریق یک تیم یادگیری ماشین کاربردی انجام می‌شود، اما عمده تحقیقات آن‌ها به صورت دانشگاهی محض است (Shead, 2020)[2].
- تحقیقات کاربردی: مرکز تحقیقات IBM در توکیو در سال ۱۹۸۲ راه‌اندازی شد تا محاسبات شناختی را برای حل مشکلات اجتماعی و صنعتی از طریق تخصص در تکنولوژی دستگاه‌های شناختی، تجزیه و تحلیل متن و تکنولوژی‌های علوم ریاضی انجام دهد. این مرکز نقشی کلیدی در تحقیقات اکتشافی به منظور برآورده نمودن نیازهای مشتریان به نوآوری و غلبه بر چالش‌های کسب و کاری از طریق همکاری مشترک در ژاپن بازی کرده است (IBM, 2020).
- توسعه تجربی: مرکز تحقیق و توسعه مایکروسافت در تایوان بر یادگیری ماشین برای تفسیر و پیش بینی حرکات کاربران تمرکز کرده، و برای مهندسی‌محور بودن طراحی شده است. بنابراین این مرکز علوم پایه هوش مصنوعی را دنبال نخواهد کرد (Yang, 2018)[3].
- ترکیبی از هر سه دسته تحقیق و توسعه

آگرافیوتی[4] معتقد است برای انجام تحقیق و توسعه در حوزه هوش مصنوعی، باید افراد مناسب را استخدام، نتیجه تحقیقات را پذیرفته و فرهنگ سازمانی را تطبیق داد. برنامه‌های کاربردی آن به اندازه‌ای جدید هستند که هنوز افراد شاغل در مقیاس زیاد برای آن وجود ندارند. این امر یافتن، حفظ و پرورش استعدادها را به مهم‌ترین چالش این رشته تبدیل می‌کند. این قابلیت در سازمان مستلزم استخدام افرادی با تعادل کامل

[1] Yagnik
[2] Shead
[3] Yang
[4] Agrafioti

بین شهود داده‌ها و دانش پیشرفته خواهد بود که این افراد تقریباً همه دانشگاهی هستند (Agrafioti, 2018). از نظر معیارهای فنی، یافته‌های دانشگاه استانفورد در گزارش شاخص هوش مصنوعی نشان می‌دهد که سایه روشن‌های تحقیق و توسعه هوش مصنوعی در سال‌های اخیر شامل موارد زیر است (AI Index, 2022)[1]:

- نتایج برتر در بین معیارهای فنی به طور فزاینده‌ای بر استفاده از داده‌های آموزشی اضافی برای تنظیم نتایج جدید و پیشرفته متکی است. این روند به طور ضمنی به نفع بازیگران بخش خصوصی با دسترسی به مجموعه گسترده‌ای از داده‌ها است.
- جامعه تحقیقاتی علاقه بیشتری به وظایف فرعی خاص بینایی رایانه، مانند تقسیم‌بندی تصاویر پزشکی و شناسایی چهره‌های نقاب‌دار مشاهده کردند. این موضوع نشان می‌دهد که تحقیقات هوش مصنوعی به سمت تحقیقاتی می‌رود که می‌توانند کاربردهای مستقیم‌تری در دنیای واقعی داشته باشند.
- هوش مصنوعی در حال حاضر از سطوح عملکرد انسانی در معیارهای اساسی درک مطلب فراتر رفته است. اگرچه سیستم‌های هوش مصنوعی هنوز قادر به دستیابی به عملکرد انسانی در وظایف پیچیده‌تر زبانی مانند استنتاج زبان طبیعی نیستند، اما این تفاوت در حال کاهش است.
- در دهه گذشته، سیستم‌های هوش مصنوعی قادر به تسلط بر وظایف یادگیری تقویتی محدودی بوده‌اند که از آن‌ها خواسته می‌شود تا عملکرد را در یک مهارت خاص، مانند شطرنج، به حداکثر برسانند. با این حال، در دو سال گذشته، سیستم‌های هوش مصنوعی به میزان ۱۲۹درصد در وظایف یادگیری تقویتی عمومی که باید در محیط‌های جدید عمل کنند، بهبود یافته‌اند. این روند از توسعه آینده سیستم‌های هوش مصنوعی صحبت می‌کند که می‌توانند تفکر گسترده‌تر را بیاموزند.
- از سال ۲۰۱۸، هزینه یادگیری یک سیستم طبقه‌بندی تصویر ۶۳.۶ درصد کاهش یافته است. در حالی که زمان یادگیری ۹۴.۴ درصد بهبود یافته است. روند کاهش هزینه یادگیری و تسریع زمان یادگیری در سایر وظایف مانند توصیه‌ها، تشخیص

[1] AI Index

اشیا و پردازش زبان ظاهر می‌شود و این به نفع پذیرش تجاری گسترده‌تر فناوری‌های هوش مصنوعی است.

- تحقیقات نشان می‌دهد که قیمت متوسط بازوهای رباتیک در پنج سال گذشته ۴۶.۲ درصد کاهش یافته است، از ۴۲.۰۰۰ دلار برای هر بازو در سال ۲۰۱۷ به ۲۲.۶۰۰ دلار در سال ۲۰۲۱. این به آن معنی است که تحقیقات رباتیک در دسترس‌تر و مقرون به صرفه‌تر شده است.

درک ویژگی‌های مرتبط با هر نوع تحقیق و توسعه برای سیاست‌گذاران به عنوان کسانی که نقش مهمی در هدایت تصمیمات سرمایه‌گذاری، اختصاص منابع و اجرای مقررات مربوط به تکنولوژی‌های هوش مصنوعی دارند، بسیار مهم است. به عنوان مثال، اگر یک سازمان دولتی قصد دارد ارائه مراقبت‌های بهداشتی را از طریق هوش مصنوعی بهبود ببخشد، سیاست‌گذاران ممکن است تحقیقات کاربردی را با همکاری ارائه‌دهندگان مراقبت‌های بهداشتی انتخاب کنند (Dissanayake, 2016).

به طور کلی، مجموعه ادبیات در زمینه ویژگی‌های تحقیق و توسعه در هوش مصنوعی نشان می‌دهد که توسعه سیستم‌های هوش مصنوعی یک فرآیند پیچیده و مبتنی بر منابع است که به طیف وسیعی از مهارت‌های تخصصی، از جمله تخصص در یادگیری ماشین، تجزیه و تحلیل داده‌ها و مهندسی نرم‌افزار نیاز دارد. بسیاری از مطالعات، عوامل کلیدی را شناسایی کرده‌اند که بر موفقیت تلاش‌های تحقیق و توسعه هوش مصنوعی، مانند دسترسی به داده‌های با کیفیت بالا، پرسنل ماهر، و بودجه و منابع مناسب تأثیر می‌گذارند.

با این حال، جمع‌بندی مرور مبانی نظری نشان می‌دهد که زمینه‌هایی وجود دارد که تحقیقات بیشتری برای درک کامل هوش مصنوعی به عنوان یک فناوری تحول‌آفرین نیاز دارد.

راه‌اندازی کسب و کارهای مبتنی بر این فناوری در ایران فرصتی نادر برای استفاده از یک نقطه عطف اقتصادی است. هنوز نمی‌توان پیش‌بینی کرد که چگونه بازار، هوش مصنوعی را شکل می‌دهد، چرا که رواج آن در حال حاضر در فناوری‌های دیگری تعبیه شده است و این به نفع پذیرش زودهنگام آن است. برای تأثیرگذاری واقعی و ماندن در

بازار، مدیران شرکت‌ها باید پلی بین تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی ایجادکنند، تا در این مسیر مشارکتی، تأثیر واقعی هوش مصنوعی شکوفا شود. علی رغم وجود تحقیقات فراوان در زمینه تکنیک‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی، مطالعات کمتری در مورد مبنای سیاست‌گذاری برای شکل‌گیری و جهت‌دهی انواع تحقیق و توسعه و جزئیات ویژگی‌های هر کدام از آن‌ها در هوش مصنوعی وجود دارد. در یک گزارش پژوهشی با هدف تدوین نقشه راه توسعه ملی هوش مصنوعی، سیاست‌ها و راهبردهای پیشنهادی برای توسعه هوش مصنوعی تدوین شده است. اولین سیاست کلان پیش‌بینی شده در آن «فراهم‌آوردن زمینه‌های شکل‌گیری تقاضا برای تحریک فعالیت‌های تحقیق و توسعه در حوزه‌های اولویت‌دار هوش مصنوعی» در کشور بوده است (ITRC, 2020). همچنین در مطالعه‌ای دیگر با هدف طراحی بسته سیاستی برای توسعه هوش مصنوعی هفت ابزار سیاستی شناسایی شده که دومین ابزار آن، «تامین مالی تحقیق و توسعه» به عنوان یکی از پیش‌ران‌های توسعه این فناوری است (Alinaghian et al., 2021).

با توجه به شکاف تحقیقاتی مشاهده‌شده در مبانی نظری، و همچنین گستردگی و پیوستگی زمینه‌های تحقیقاتی و مطالعاتی هوش مصنوعی، به نظر می‌رسد الگوی مفهومی آمسدن و چانگ بهتر بتواند ابعاد و شاخص‌های لازم برای دستیابی به هدف تحقیق را تبیین نمایند. اهمیت این موضوع از آن جهت است که شرکت‌های فناوری داخلی با علم به چالش‌ها و فرصت‌های تحقیقات پایه، کاربردی و توسعه‌ای دید بهتری برای تدوین راهبرد کسب و کاری خود و انجام فعالیت‌های تحقیق و توسعه پیدا خواهند نمود. نتایج تحقیقات مرکز امنیت و فناوری‌های نوظهور نشان داد تحقیقات پایه و کاربردی بیشترین میزان فعالیت‌های تحقیق و توسعه را به خود اختصاص داده‌اند با این حال تشخیص این که فعالیت‌های تحقیق و توسعه داخلی بر کدام نوع آن تمرکز شود نیازمند بررسی عوامل متعددی است.

روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی بوده و از لحاظ روش، ترکیبی از روش‌های کیفی و کمی محسوب می‌گردد. این تحقیق به منظور شناسایی و تبیین ویژگی انواع

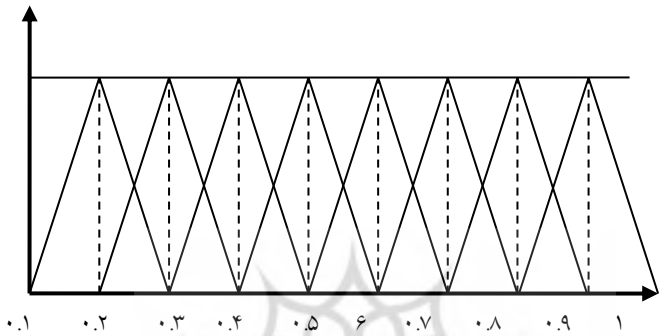
تحقیق و توسعه در فناوری هوش مصنوعی با استفاده از راهبرد تحلیل محتوا و تکنیک دلفی فازی انجام شده است. در بخش کیفی، مطالعه جامعی بر روی مبانی نظری و ادبیات پژوهش انجام و انواع مختلف تحقیق و توسعه و ویژگی‌های کلی آن‌ها استخراج گردید. گردآوری اطلاعات با استفاده از ابزار مصاحبه نیمه ساختاریافته انجام شد، به این صورت که سئوالات مصاحبه با محور تعیین مصادیق هر کدام از مشخصه‌های تحقیق و توسعه هوش مصنوعی از قبل تنظیم شد، لیکن درهنگام مصاحبه انعطاف پذیری لازم برای خارج شدن از محدوده سئوال برای مصاحبه شونده و یا طرح سئوال جدید از طرف مصاحبه‌کننده فراهم شده بود. در این راستا ۱۰ نفر از مدیران و خبرگان حوزه تحقیق و توسعه هوش مصنوعی، که دارای مدرک تحصیلی دکترا و حداقل ده‌سال سابقه انجام فعالیت‌های تحقیقاتی بودند براساس نمونه‌گیری هدفمند و به روش گلوله برفی از حوزه‌های دانشگاهی، پژوهشی و صنعت انتخاب شدند به نحوی که پس از ارائه پاسخ سئوالات توسط خبره اول، خبره دوم از طرف ایشان معرفی و به همین ترتیب تا پایان مصاحبه تکرار شد. جمع آوری اطلاعات تا رسیدن به نقطه اشباع که در آن اطلاعات متفاوتی از مصاحبه‌های جدید به دست نیامد، ادامه یافت. نظرات خبرگان با کسب اجازه از آن‌ها ضبط و پس از بازنویسی با استفاده از الگوی کدگذاری در تحلیل مضمون براون و کلارک (Braun & Clarke, 2006)، در شش گام مورد تحلیل و دسته بندی قرار گرفت.

در بخش کمی تحقیق برای غربال و شناسائی دقیق ویژگی‌های نهایی به دست آمده، از رویکرد دلفی فازی استفاده شده است. در این روش در گام اول نسبت به شناسایی خبرگان و تشکیل پنل دلفی اقدام شد که در این راستا ۱۲ نفر از افراد خبره در تحقیق و توسعه هوش مصنوعی با تحصیلات و تجربه مرتبط، به روش نمونه‌گیری قضاوتی انتخاب شدند. در گام دوم پرسشنامه و طیف مناسب (طیف هفت‌گانه لیکرت- جدول ۲) برای فازی‌سازی عبارات کلامی طراحی شد. محتوی سئوالات پرسشنامه براساس ویژگی‌های به دست آمده از مرحله کیفی تحقیق (شاخص‌های تعدیل شده و مصادیق آن‌ها براساس الگوی آمسدن و چانگ)، تنظیم گردید. به منظور کنترل روایی و پایایی پرسشنامه، سئوالات از قبل در اختیار تعدادی از خبرگان مورد نظر قرار گرفت و از نظر

صوری و محتوایی مورد اصلاح و اعتبارسنجی قرار گرفت. در گام سوم، پس از جمع آوری دیدگاه خبرگان برای تجمیع نظرات آن‌ها از روش میانگین فازی استفاده شد. میانگین فازی n عدد فازی مثلثی با رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\tilde{F}_{AVE} = (\mathrm{L}, \mathrm{M}, \mathrm{U}) = \frac{\sum l_i^k}{n}, \frac{\sum m_i^k}{n}, \frac{\sum u_k^i}{n}$$

که در این رابطه عدد فازی مثلثی $\tilde{\mathrm{f}}_i = \left(l_i^k, m_i^k, u_i^k\right)$ معادل فازی دیدگاه خبره k ام پیرامون معیار i ام است.



شکل (۳) ارزش گذاری شاخص‌ها نسبت به هم با استفاده از اعداد فازی مثلثی

در گام چهارم پس از آنکه میانگین فازی دیدگاه خبرگان محاسبه شد عدد حاصل از روش مرکز سطح و با استفاده از رابطه زیر فازی‌زدایی شد:

$$DF_{ij} = \frac{[(u_{ij} - l_{ij}) + (m_{ij} - l_{ij})]}{۳} + l_{ij}$$

جدول(۲) اعداد فازی مثلثی طیف لیکرت ۷ درجه

متغیرزمانی	مقدار فازی	مقیاس عدد فازی
کاملا بی‌اهمیت	۱	(۰.۱،۰،۰)
خیلی بی‌اهمیت	۲	(۰.۱.۰.۳،۰)
بی‌اهمیت	۳	(۰.۳.۰.۵،۰.۱)
متوسط	۴	(۰.۷۵.،۰.۵،۰.۳)
با اهمیت	۵	(۰.۹.،۰.۷۵،۰.۵)
خیلی بااهمیت	۶	(۱،۰.۹،۰.۷۵)
کاملا بااهمیت	۷	(۱،۱،۰.۹)

گام پنجم، انتخاب شدت آستانه و غربال ویژگی‌ها است. عدد حاصل از فازی‌زدایی بین ۰ تا ۱ می‌باشد و معمولا شدت آستانه ۰.۷ در نظر گرفته می‌شود (Habibi et al., 2015). ویژگی‌هایی که مقداری کمتر از آستانه داشتند حذف می گردند و دلفی را برای دور بعدی ادامه یافت. از آنجا که دورهای دلفی تا جایی ادامه پیدا می‌کند که دیگر شاخص یا ویژگی حذف یا اضافه نشود، لذا در گام آخر که دستیابی به توافق است عدد محاسبه‌شده برای هر مشخصه یا ویژگی نشان داد که فاصله فازی مقادیر در دور دوم از ۰.۲ کوچکتر است و فرآیند دلفی فازی خاتمه یافت و ویژگی‌های نهایی احصا شدند.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

براساس یافته‌های به دست آمده مطابق الگوی براون و کلارک، ابتدا تجزیه و توصیف زمینه‌های مطالعاتی و پژوهشی علوم و فناوری‌های هوش مصنوعی شامل آشنایی با متن، ایجاد کدهای اولیه و در نهایت جستجو و شناخت مضامین انجام شد. سپس در مرحله بعد به تشریح و تفسیر مشخصه‌های پنج نوع تحقیق و توسعه در فناوری هوش مصنوعی شامل تحقیقات در علوم محض، تحقیقات پایه، تحقیقات کاربردی، توسعه اکتشافی و توسعه پیشرفته پرداخته شد.

جدول (۳) مشخصه‌های تحقیقات علوم محض در فناوری هوش مصنوعی

ویژگی‌ها/ نوع R&D	تحقیقات علوم محض
جستجو	مفاهیم کلی در علوم شناختی، تکنیک‌ها و فرمول‌های آماری و ریاضی، روانشناسی، زیست شناسی، علوم پایه.
هدف پژوهش	کشف اصول جدید علمی
خروجی	مقالات علمی، کتاب و حق اختراع (پتنت)
معیار عملکرد	مالکیت فکری ثبت شده
افق زمانی (نظری)	بلند مدت و نامحدود
تکنیک‌ها و روش‌ها	تکنیک ها و روش های ریاضی، آماری و علوم تجربی
صلاحیت و مهارت‌ها	افراد دانشگاهی با تحصیلات دکتری علوم پایه، ریاضیات و مهندسی
اندازه تلاش‌ها	متناسب با شاخه علمی مورد مطالعه

در نهایت و در مرحله ترکیب و ادغام تحلیل شبکه مضامین فوق در هشت ویژگی برای هر نوع تحقیق وتوسعه دسته‌بندی گردید. در ادامه ویژگی‌ها و مصداق‌های نهایی مرتب شده و ضمن بازنگری مجدد توسط خبرگان و مرتبط نمودن نتایج با مبانی نظری و سئوالات تحقیق به ترتیب در جداول مربوطه دسته بندی گردید.

تحقیقات در علوم محض (جدول ۳) مرتبط به این فناوری شامل علوم شناختی، فلسفه و منطق، آمار و ریاضیات، زیست شناسی، و روان‌شناسی و غیره می‌شود که هدف آن کشف اصول جدید علمی است. خروجی این تحقیقات، مقالات و حق امتیاز (پتنت) بوده و معیار عملکرد آن حقوق مالکیت فکری ثبت شده است. این تحقیقات در یک افق زمانی بلند مدت به ثمر می‌رسند. در این تحقیقات بیشتر از تکنیک‌های ریاضی، آماری و علوم تجربی استفاده و محققین این حوزه بیشتر افراد دانشگاهی با تحصیلات دکتری هستند. حجم تلاش‌های تحقیقاتی در این بخش متناسب با شاخه علمی مورد مطالعه می باشد.

جدول (٤) مشخصه‌های تحقیقات پایه در فناوری هوش مصنوعی

ویژگی‌ها/ نوع R&D	تحقیقات پایه
جستجو	دانش جدید برای تولید محصولات و خدمات پیشرو قابل ارائه به بازار
هدف پژوهش	اصول جدید علمی اغلب با کاربردهای مبهم و پراکنده
خروجی	مالکیت فکری محصول محور برای انتقال به تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای مثل الگوریتم‌های ژنتیک و شبکه‌های عصبی.
معیار عملکرد	مالکیت فکری محصول محور
افق زمانی (نظری)	بلند مدت
تکنیک‌ها و روش‌ها	تکنیک ها و روش های ریاضی، آماری و آزمایش های علمی
صلاحیت و مهارت‌ها	افراد دانشگاهی با تحصیلات دکتری علوم پایه، ریاضیات و مهندسی به همراه تخصص و نظارت مدیریتی
اندازه تلاش‌ها	اندازه ضروری مورد نیاز برای کلیت محصول، تخصصی سازی و یکپارچگی

تحقیقات پایه هوش مصنوعی (جدول ۴) در پی دانش جدید برای شناسایی محصولات قابل عرضه به بازار خواهد بود، اگر چه بیشتر اوقات کاربردهای آن مبهم و پراکنده است.

خروجی این تحقیقات قابلیت ثبت مالکیت فکری آن را برای انتقال به تحقیقات کاربردی پیدا خواهد نمود. این تحقیقات هم بلندمدت بوده و بیشتر حول مباحث ریاضی و آمار شکل خواهند گرفت و علاوه بر مهارت‌های علمی نیازمند دید و تخصص مدیریتی مورد نیاز هم می‌باشند. اندازه تلاش تحقیقاتی براساس کلیت محصول، تخصصی‌سازی و یکپارچگی آن مشخص خواهد شد.

جدول(۵) مشخصه‌های تحقیقات کاربردی در فناوری هوش مصنوعی

ویژگی‌ها/ نوع R&D	تحقیقات کاربردی
جستجو	یک محصول متمایز شده (روی کاغذ)
هدف پژوهش	متحول نمودن، تغییر و بکارگیری مجدد مفهوم شناخته شده برای سامانه‌های کاربردی جدید
خروجی	محصول متمایز برای بازار خاص (طراحی مفهومی)
معیار عملکرد	مالکیت فکری به همراه محصول، و جایگاه بازار متمایز شده
افق زمانی (نظری)	میان مدت و کوتاه مدت
تکنیک‌ها و روش‌ها	تکنیک‌های علمی، فرموله کردن معادلات و الگوریتم ها
صلاحیت و مهارت‌ها	افراد با تجربه و آموزش دیده با مدارک کارشناسی، ارشد و دکتری و آشنا به مهارت های علم داده و تحلیل
اندازه تلاش‌ها	کمتر از تلاش مورد نیاز برای بهره برداری از یک جایگاه بازاری استفاده شده در تحقیقات پایه

تحقیقات کاربردی در هوش مصنوعی (جدول ۵) همان طرح مفهومی محصول است. هدف این تحقیقات، تغییر و تحول و پیاده‌سازی مجدد مفاهیم شناخته شده برای ایجاد کاربردهای جدید هوش مصنوعی است. خروجی این تحقیقات محصولی متمایزشده برای یک بازار خاص است و با قابلیت ثبت اختراع و پتانسیل نفوذ در بازار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این تحقیقات در میان مدت و گاهی کوتاه‌مدت به نتیجه می‌رسند و در آن از تکنیک‌های علمی مثل فرموله‌کردن معادلات ریاضی و آماری، تکنیک‌های یادگیری ماشین و تحلیل کلان‌داده توسط متخصصین با تجربه و آموزش‌دیده با تحصیلات

مختلف استفاده می‌شود. میزان تلاش مورد نظر در این تحقیقات کمتر از تحقیقات پایه بوده و براساس مناسبات بازار تعیین می‌شود.

جدول (٦) مشخصه‌های تحقیقات توسعه اکتشافی در فناوری هوش مصنوعی

ویژگی‌ها/ نوع R&D	توسعه اکتشافی
جستجو	نمونه اولیه یک سامانه عملیاتی
هدف پژوهش	به کارگیری مفهوم به عنوان یک سیستم مهندسی شده
خروجی	محصول طراحی شده با جزئیات یا نمونه آن
معیار عملکرد	نتایج بازار (مثل زمان ورود به بازار)
افق زمانی (نظری)	کوتاه مدت
تکنیک‌ها و روش‌ها	ابزارهای طراحی صنعتی و مهندسی مثل شبیه‌سازی و کدنویسی
صلاحیت و مهارت‌ها	افراد با تجربه و آموزش دیده با مدارک کارشناسی، ارشد و آشنا به مهارت‌های علم داده و تحلیل و در موارد لازم علم مواد، مکاترونیک و ..
اندازه تلاش‌ها	افزایش تلاش‌ها متناسب با اندازه سیستم

تحقیقات توسعه اکتشافی هوش مصنوعی (جدول ۶) در پی نمونه‌سازی در یک سیستم است، هدف تحقیقاتی آن بکار بستن طراحی مفهومی به عنوان یک سیستم مهندسی شده است. خروجی این بخش نمونه اولیه یک برنامه یا سامانه کدنویسی شده است که معیار ارزیابی آن براساس بازخورد بازار شکل خواهدگرفت. این تحقیقات در کوتاه‌مدت انجام می‌شوند و در آن مهندسین از ابزارهای طراحی و مهندسی کامپیوتری مثل شبیه‌سازی و کدنویسی بهره می‌گیرند. هر چقدر اندازه سامانه مورد نظر بزرگتر باشد حجم تلاش‌های تحقیقاتی مرتبط هم افزایش خواهد یافت.

تحقیقات توسعه پیشرفته (جدول ۷) در هوش مصنوعی به نیت کاربرد گسترده سامانه نمونه تولیدشده با هدف کاهش هزینه‌ها و کاهش عدم قطعیت‌های ساخت برنامه، یا تعبیه و یکپارچه‌شدن در یک سامانه دیگر شکل می‌گیرند. خروجی این مرحله، محصول آماده‌شده برای عرضه به بازار است و با میزان اقبال مشتریان سنجیده می‌شود. در این بخش علاوه بر ابزارهای کدنویسی از ساز و کارهای کنترل کیفیت، رفع نقص و آزمون

سامانه هم استفاده می‌گردد. زمان اختصاص یافته به این نوع از تحقیقات به لحاظ ضرورت رسیدن سریع به بازار بسیار کم است و نیازمند دانش فنی بالا در کنار مهارت‌های مدیریتی مرتبط به محصول و فرآیندهای ساخت خواهد بود. میزان تلاش‌های تحقیقاتی صورت گرفته نیز متناسب با میزان تولید تغییر خواهد کرد.

جدول (۷) مشخصه‌های تحقیقات توسعه پیشرفته در فناوری هوش مصنوعی

ویژگی‌ها/ نوع R&D	توسعه پیشرفته
جستجو	توسعه نمونه برای ساخت
هدف پژوهش	کاهش هزینه و عدم قطعیت های ساخت
خروجی	محصول قابل تولید
معیار عملکرد	نتایج بازاری (مثل تعداد کالاهای فروش رفته یا برگشتی)
افق زمانی (نظری)	فوری
تکنیک‌ها و روش‌ها	ابزارهای طراحی و مهندسی به علاوه آزمایش و کنترل کیفیت
صلاحیت و مهارت‌ها	افراد با تجربه و آموزش دیده با مدارک کارشناسی و ارشد به همراه مهارت‌های مدیریتی مرتبط با افراد و دانش چگونگی فرآیندها
اندازه تلاش‌ها	مرتبط با اندازه تولید

یافته‌های بخش کمی این تحقیق براساس نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها به دست آمده است. براساس گام‌های هفت‌گانه روش دلفی فازی، نظرات خبرگان که طبق طیف لیکرت ۷ درجه فازی در پرسشنامه‌ها ثبت شده بود، جمع آوری شد. فازی‌سازی دیدگاه خبرگان پیرامون هر شاخص (ویژگی) در جدول (۸) نمایش داده شده است.

میانگین فازی و برونداد فازی‌زدائی شده مقادیر مربوط به شاخص‌ها در جدول (۹) آمده است. مقدار فازی‌زدائی شده بزرگتر از ۰.۷ مورد قبول است و هر شاخصی که امتیاز کمتر از ۰.۷ داشته باشد رد می‌شود. همانطور که در جدول دیده می‌شود مقدار فازی‌زدایی شده برای همه شاخص‌ها بالاتر از ۰.۷ است.

جدول (۸) فازی‌سازی دیدگاه پنل خبرگان برای هریک از شاخص‌ها

شاخص‌ها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸
خبره ۱	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)
خبره ۲	(۰.۹, ۰.۸, ۰.۷)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)
خبره ۳	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)
خبره ۴	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۷)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)
خبره ۵	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)
خبره ۶	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)
خبره ۷	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۱, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۱)	(۰.٤, ۰.٥, ۰.٦)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)
خبره ۸	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)
خبره ۹	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)
خبره ۱۰	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.٥, ۰.٦, ۰.۷)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)	(۰.٦, ۰.۷, ۰.۸)
خبره ۱۱	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)
خبره ۱۲	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۸, ۰.۹)	(۰.۸, ۰.۹, ۰.۹)

تحلیل دلفی فازی برای شاخص‌های باقی مانده در دور دوم ادامه پیدا کرد. نتایج حاصل از فازی‌زدایی عناصر در دور دوم در جدول (۱۰) گزارش شده است. در دور دوم هیچ شاخصی حذف نشد و میزان اختلاف میانگین‌ها در دور اول و دوم کوچکتر از ۰.۲ بود که این خود نشانه‌ای برای پایان دورهای انجام تحلیل دلفی است.

جدول(۹) میانگین فازی و غربالگری فازی ویژگی‌ها (دور اول)

R1	L	M	U	mean	Crisp	Result
C۱	۰.۶۵	۰.۷۴	۰.۸۲	(۰.۸۲,۰.۷۵,۰.۶۵)	۰.۷۵	پذیرش
C۲	۰.۶۵	۰.۷۵	۰.۸۳	(۰.۸۳,۰.۷۵,۰.۶۵)	۰.۷۴	پذیرش
C۳	۰.۶۵	۰.۷۵	۰.۸۲	(۰.۸۲,۰.۷۵,۰.۶۵)	۰.۷۴	پذیرش
C۴	۰.۶۴	۰.۷۴	۰.۸۳	(۰.۸۳,۰.۷۴,۰.۶۴)	۰.۷۳	پذیرش
C۵	۰.۶۴	۰.۷۴	۰.۸۲	(۰.۸۱,۰.۷۴,۰.۶۴)	۰.۷۳	پذیرش
C۶	۰.۶۵	۰.۷۴	۰.۷۹	(۰.۷۹,۰.۷۴,۰.۶۵)	۰.۷۲	پذیرش
C۷	۰.۶۲	۰.۷۴	۰.۸۰	(۰.۸,۰.۷۲,۰.۶۳)	۰.۷۲	پذیرش
C۸	۰.۶۹	۰.۷۹	۰.۸۴	(۰.۸۴,۰.۷۹,۰.۶۹)	۰.۷۷	پذیرش

پذیرش یا توافق به دست آمده در دور دوم، موید این موضوع است که نظرات خبرگان در مورد شاخص‌ها و ویژگی‌های تحقیق و توسعه در هوش مصنوعی که از مرحله کیفی تحقیق به دست آمده بود به همگرایی لازم برای ارائه یک نظریه رسیده است. به این ترتیب به نظر می‌رسد این ویژگی‌ها بتوانند اطلاعات لازم برای سیاست‌گذاری در زمینه نوع تحقیق و توسعه هوش مصنوعی را فراهم کنند.

جدول (۱۰) میانگین فازی و غربالگری فازی ویژگی ها (دور دوم)

R2	L	M	U	mean	Crisp	Result
C۱	۰.۷۰	۰.۸۱	۰.۸۷	(۰.۸۷,۰.۸۱ ,۰.۷۱)	۰.۷۶	پذیرش
C۲	۰.۶۴	۰.۷۴	۰.۸۳	(۰.۸۳,۰.۷۴ ,۰.۶۴)	۰.۷۳	پذیرش
C۳	۰.۶۶	۰.۷۷	۰.۸۶	(۰.۸۶,۰.۷۷ ,۰.۶۷)	۰.۷۵	پذیرش
C۴	۰.۶۸	۰.۷۸	۰.۸۵	(۰.۸۵,۰.۷۸ ,۰.۶۸)	۰.۷۳	پذیرش
C۵	۰.۷۲	۰.۸۲	۰.۸۷	(۰.۸۷,۰.۸۲ ,۰.۷۲)	۰.۷۳	پذیرش
C۶	۰.۷۰	۰.۸۱	۰.۸۷	(۰.۸۷,۰.۸۱ ,۰.۷۰)	۰.۷۲	پذیرش
C۷	۰.۶۷	۰.۷۷	۰.۸۴	(۰.۸۴,۰.۷۷ ,۰.۶۶)	۰.۷۲	پذیرش
C۸	۰.۶۷	۰.۷۷	۰.۸۵	(۰.۸۵,۰.۷۷ ,۰.۶۷)	۰.۷۳	پذیرش

بحث و نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی یکی از فناوری‌های نوظهور در عصر حاضر است که ظرفیت تاثیرگذاری شگرفی بر همه ابعاد جامعه اعم از افراد و کسب وکارها دارد. در این مقاله تلاش گردید تا ویژگی‌ها و مشخصه‌های انواع تحقیق و توسعه در حوزه هوش مصنوعی شناسایی گردد تا براساس آن سیاست‌گذاران و شرکت‌ها بتوانند راهبرد کلی خود در دستیابی و بهره‌برداری از این فناوری را تنظیم و مسیر حرکت پیش رو را به درستی ترسیم نمایند.

راهبرد تحقیق و توسعه هوش مصنوعی به عنوان یکی از کارکردهای نظام ملی نوآوری کشور، یکی از اولویت‌هایی است که مراکز دولتی ذیربط در بیشتر کشورها اقدامات لازم برای تدوین آن و تبیین نقش نهادهای دیگر را تدوین نموده‌اند. در این راستا پیشنهادات و توصیه‌های کاربردی به شرح زیر ارائه می گردد:

۱- تحقیقات علوم محض در هوش مصنوعی به دنبال کشف اصول علمی جدید در یک افق زمانی نامحدود یا بلندمدت بوده و افرادی با سطح تحصیلات و تخصص بالا را نیاز دارد، لذا بخش عمده این تحقیقات در مراکز دانشگاهی و با حمایت‌های مالی و لجستیکی دولت قابل انجام است.

۲- برای تحقیقات پایه هوش مصنوعی نیز که در آن سرنخ‌هایی از کاربردهای علوم محض، آشکار می‌شود زمان قابل توجهی مورد نیاز خواهد بود. با توجه به اینکه در این تحقیقات هم هنوز دورنمای روشنی برای تجاری‌سازی یافته‌ها وجود ندارد، لذا مراکز تحقیقاتی و پژوهشگاه‌های دولتی می‌توانند نقش عمده‌ای در انجام این تحقیقات ایفا نمایند.

۳- تحقیقات کاربردی هوش مصنوعی نقطه عطف تحقیق و توسعه و به منزله پلی بین تحقیقات پایه و پژوهش‌های توسعه‌ای است. این تحقیقات با رویکرد تجاری به دنبال مفهوم‌سازی محصولات و سامانه‌های هوش مصنوعی در کوتاه مدت و میان مدت خواهد بود. مراکز تحقیقاتی بخش خصوصی، شرکت‌های دانش‌بنیان پژوهش‌محور و دپارتمان‌های تحقیق و توسعه برخی شرکت‌ها به واسطه نزدیکی به

مراکز صنعتی و شناخت ساز و کارهای بازار برای انجام چنین تحقیقاتی مناسب‌تر به نظر می‌رسند.

۴- تحقیقات توسعه‌ای اکتشافی که به دنبال طراحی و ساخت نمونه از یک مفهوم مهندسی‌شده در هوش مصنوعی است، به دلیل مناسبات بازار و ضرورت تامین سرمایه، زمان کمی برای تحقق آن وجود دارد. مهندسین و کارشناسان خبره شرکت‌های دانش بنیان و نوپا ظرفیت مناسبی برای خلق چنین نوآوری‌هایی دارند. در کنارآن و در صورت تعریف ساز و کار لازم، آزمایشگاه‌های تحقیق و توسعه هوش مصنوعی (دولتی- خصوصی) نیز می‌توانند روند ارزیابی، آزمون و تائید نمونه‌های مربوطه را تسهیل و تسریع نمایند.

۵- تحقیقات توسعه‌ای پیشرفته هوش مصنوعی در پی ساخت و تولید سامانه نمونه با کمترین هزینه و بالاترین کارایی و اثربخشی است. در این مرحله فعالیت‌هایی مثل رفع نقص، کنترل کیفیت، پشتیبانی و ارتقای سیستم و کاهش ضایعات در کوتاه‌ترین زمان ممکن باید انجام گردد، تا لطمه‌ای به فروش و جایگاه شرکت‌ها در بازار وارد نشود. علاوه بر منابع مورد نیاز و مهارت‌های ساخت و تولید، مهارت‌های بازاریابی، مدیریت فروش، تضمین کیفیت و خدمات پس از فروش هم برای شرکت‌ها و موسسات بازرگانی که مبادرت به ساخت و فروش محصولات و خدمات مرتبط می‌نمایند، ضروری است.

نتایج این تحقیق با تحقیقات مرکز نوآوری و توسعه هوش مصنوعی (ITRC, 2020) و مقاله ارائه بسته سیاستی در هوش مصنوعی (Alinaghian et al., 2021) از نظر اولویت داشتن تحقیق و توسعه در سیاست‌گذاری هوش مصنوعی همسو است، لیکن در مورد جزئیات و نوع تحقیق و توسعه، آن‌ها رویکرد تقاضامحوری را دنبال می‌کنند که نشان می‌دهد تحقیقات توسعه‌ای منجر به نتایج بازاری مورد تاکید است. همچنین یافته‌های این مقاله با پژوهش‌های (Dissanayake, 2016 ، Santos et all, 2022، Kamath et al., 2019، Skoryatina & Zavalishina,2022 و Agrafioti, 2018) همخوانی دارد، اگرچه مبتنی بر دسته‌بندی سه‌گانه انواع تحقیق و توسعه در الگوی فراسکاتی است.

فناوری هوش مصنوعی و بهره‌برداری از آن در صنایع و بخش‌های مختلف جامعه پیچیدگی‌ها و محدودیت‌های قابل تاملی از نظر تحقیق و توسعه دارد. محدودیت این تحقیق این بود که به دلیل نبود اطلاعات روشنی از شرکت‌ها و موسساتی که مبادرت به پژوهش‌های توسعه‌ای در هوش مصنوعی می‌نمایند، عمدتا از نظرات خبرگان دانشگاهی و پژوهشی برای شناسایی ویژگی‌های تحقیق و توسعه هوش مصنوعی استفاده شده است. لذا برای تحقیقات آتی توصیه می‌شود، جنبه‌های کاربردی و تولیدی سامانه‌های هوش مصنوعی بومی شناسایی، مدیریت فرآیند و ویژگی فعالیت‌های تحقیق و توسعه شرکت‌ها و آزمایشگاه‌ها هم مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (Eds.). (2019). The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda. University of Chicago Press.

Agrafioti, Foteini (2018), How to Set Up an AI R&D Lab, RBC.

Alinaghian A., Safdari Ranjbar M., Mohammadi, M (2022), Designing a policy package for developing Artificial Intelligence in Iran, Iranian Journal of Public policy [In Persian].

Amsden Alice H., F. Ted Tschang (2003). A new approach to assessing the technological complexity of different categories of R&D (with examples from Singapore), Research policy.

Baird, A., & Maruping, L. M. (2021). The Next Generation of Research on IS Use: A Theoretical Framework of Delegation to and from Agentic IS Artifacts. MIS Quarterly, 45(1), 315-341. https://doi.org/ 10.25300/MISQ/2021/15882

Balakrishnan, T., Chui, M., Hall, B., & Henke, N. (2020). The State of AI in 2020. McKinsey. Retrieved April 19 from https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/ourinsights/global-survey-the-state-of-ai-in-2020

Berente N., Gu B, Recker J., Santanam R. (2021). Managing Artificial Intelligence, Journal of MIS quarterly. Vol 45, No 3, 2021, doi: 10.25300/MISQ/2021/16274

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Brynjolfsson, E., & Mitchell, T. (2017). What Can Machine Learning Do? Workforce Implications. Science, 358(6370), 1530-1534.

Bughin, Jacques, Hazan, Eric, Ramaswamy, Sree, Chui, Michael, Allas, Tera, Dahlström, Peter, Henke, Nicholaus, and Trench, Monica (2017), "Artificial Intelligence: The Next Digital Frontier?" (McKinsey Global Institute, June 2017).

Castelvecchi, D. (2016). Can we open the black box of AI? Nature, 538(7623), 20-23. https://doi.org/10.1038/538020a

Chen, H., Chiang, R., & Storey, V. C. (2012). Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impacts. MIS Quarterly, 36(4), 1165-1188.

Davenport, T. H., & Kirby, J. (2015). Beyond Automation. Harvard Business Review, 93(6), 58-65.

Daniel Zhang, Nestor Maslej, Erik Brynjolfsson, John Etchemendy, Terah Lyons, James Manyika, Helen Ngo, Juan Carlos Niebles, Michael Sellitto, Ellie Sakhaee, Yoav Shoham, Jack Clark, and Raymond Perrault, "The AI Index 2022 Annual Report," AI Index Steering Committee, Stanford Institute for Human-Centered AI, Stanford University, March 2022

Eggers, W. Mendelson, T. Chew, B. Kishnani, P. K. K. (2021). Crafting an AI strategy for government leaders, Deloitte insight

IBM Research | Tokyo, (2020). What is next in AI? IBM. http://www.research.ibm.com/labs/tokyo/

Information and Communication Research Center (2020), Research Report on road map of AI development, Innovation and development center for Artificial Intelligence.

Giulio Ferrigno, Antonio Crupi, Alberto Di Minin and Paavo Ritala; 50+ years of R&D Management: a retrospective synthesis and new research trajectories, (2023), R&D Management published by RADMA and John Wiley & Sons Ltd.

Glikson, E., & Woolley, A. W. (2020). Human Trust in Artificial Intelligence: Review of Empirical Research. Academy of Management Annals, 14(2), 627-660. https://doi.org/10.5465/annals.2018.0057

Habibi, A., Jahantigh, F. F., & Sarafrazi, A. (2015). Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items. Asian Journal of Research in Business Economics and Management, 5(2), 130-143.

Heston, Roxanne and Zwetsloot, Remco (2021), Mapping U.S. Multinationals' Global AI R&D Activity, CEST.

Human-Centered Artificial Intelligence (2022), Artificial intelligence Index report 2022, Stanford University.

Kellogg, K. C., Valentine, M. A., & Christin, A. (2020). Algorithms at Work: The New Contested Terrain of Control. Academy of Management Annals, 14(1), 366-410. https://doi.org/10.5465/annals.2018.0174

Kitchin, R. (2014). The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures & Their Consequences. Sage

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep Learning. Nature, 521(7553), 436.

Lyytinen, K., Nickerson, J. V., & King, J. L. (2021). Metahuman Systems = Humans + Machines That Learn. Journal of Information Technology, forthcoming. https://doi.org/10.1177/0268396220915917

Mc Corduck, P. (2004). Machines Who Think (2nd ed.). Taylor & Francis.

M. Dissanayake. (2016). Basic and applied scientific research, innovation and economic development. In Ceylon Journal of Science (Vol. 45, p. 1). https://doi.org/10.4038/CJS.V45I1.7368

Meyer, B. (2011). John McCarthy. ACM. Retrieved April 27 from https://cacm.acm.org/blogs/blogcacm/138907-john-mccarthy/fulltext

Metcalf, L., Askay, D. A., & Rosenberg, L. B. (2019). Keeping Humans in the Loop: Pooling Knowledge through Artificial Swarm Intelligence to Improve Business Decision Making. California Management Review, 61(4), 84-109. https://doi.org/10.1177/0008125619862256

NSTC (2016), Preparing for the Future of Artificial Intelligence. National science and Technology Council.

OECD (2015): Frascati manual 2015. Guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development. Paris: OECD (The measurement of scientific, technological and innovation activities).

Rahwan, I., Cebrian, M., Obradovich, N., Bongard, J., Bonnefon, J.-F., Breazeal, C., Crandall, J. W., Christakis, N. A., Couzin, I. D., Jackson, M. O., Jennings, N. R., Kamar, E., Kloumann, I. M., Larochelle, H., Lazer, D., McElreath, R., Mislove, A., Parkes, D. C., Pentland, A., Roberts, M. E., Shariff, A., Tenenbaum, J. B., &

Wellman, M. P. (2019). Machine Behaviour. Nature, 568, 477486. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1138-y

J. M. Santos, H. Horta, & H. Luna. (2022). The relationship between academics' strategic research agendas and their preferences for basic research, applied research, or experimental development. In Scientometrics (Vol. 127, pp. 4191–4225). https://doi.org/10.1007/s11192-022-04431-5

Schilling, Melissa A; Strategic management of technological innovation,5th ed,(2017).

Shrestha, Y. R., Ben-Menahem, S. M., & von Krogh, G. (2019). Organizational Decision-Making Structures in the Age of Artificial Intelligence. California Management Review, 61(4), 66-83. https://doi.org/10.1177/0008125619862257

Shead (2020), "Facebook Plans To Double Size of AI Research", Forbes

Silver, David, A.Huang, Chris J. Maddison, Guez A., Laurent Sifre, George van den Driessche, Julian Schrittwieser, Ioannis Antonoglou, Veda Panneershelvam, Marc Lanctot, Sander Dieleman, Dominik Grewe, John Nham, Nal Kalchbrenner, Ilya Sutskever, Timothy Lillicrap, Madeleine Leach, Koray Kavukcuoglu, Thore Graepel, and Demis Hassabis, (2016) "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search," Nature 529: 484-89.

Skoryatina, Zavalishina. (2017). Impact of Experimental Development of Arterial Hypertension and Dyslipidemia on Intravascular Activity of Rats' Platelets. In Annual research & review in biology (Vol. 14, pp. 1–9). https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/33758

Stanford University "One Hundred Year Study on Artificial Intelligence (AI100)", accessed August 1, 2016, https://ai100.stanford.edu.

Stone, P., Brooks, R., Brynjolfsson, E., Calo, R., Etzioni, O., Hager, G., Hirschberg, J., Kalyanakrishnan, S., Kamar, E., Kraus, S., Leyton-Brown, K., Parkes, D., Press, W., Saxenian, A. L., Shah, J., Tambe, M., & Teller, A. (2016). Artificial Intelligence and Life in 2030." One Hundred Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015-2016 Study Panel. http://ai100.stanford.edu/2016repor

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement Learning: An Introduction (2nd ed.). MIT Press. Sviokla, J. J. (1990). An

Examination of the Impact of Expert Systems on the Firm: The Case of XCON MIS Quarterly, 14(2), 127-140. https://doi.org/10.2307/248770

Townsend, A. M., & Hunt, R. A. (2019). Entrepreneurial Action, Creativity, & Judgment in the Age of Artificial Intelligence. Journal of Business Venturing Insights, 11(e00126). https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2019.e00126

UNESCO. (1982). Guide for Collecting Statistics Relating to Science and Technology Activities. Report No. 2.

U. Kamath, J. Liu, J. Whitaker (2019), Deep Learning for NLP and Speech Recognition, https://link.springer.com/

Van Duin, Stefan and Bakhshi, Naser (2018), Artificial Intelligence, Deloitte

Verstehen, W; Gestalten, Z (2018); Impulse für die Zukunft der Innovation. Fraunhofer-Verbund Innovations forschung (Ed.); Available online at: http://publica.fraunhofer.de/documents/N-491577.html

Wu, L., & Lou, B. (2021). AI on Drugs: Can Artificial Intelligence Accelerate Drug Development? Evidence from a Large-scale Examination of Bio-pharma Firms. MIS Quarterly, 45, forthcoming.

Yagnik, Jay, (2019). Google Research India: an AI lab in Bangalore, https://blog.google/around-the-globe/google-asia/google-research-india-ai-lab-bangalore/

Yang, Elvina, "Microsoft R&D Center in Taiwan Starts Recruiting for AI Research." https://meet-global.bnext.com.tw/articles/view/42604

COPYRIGHTS

© 2023 by the authors. Licensee Advances in Modern Management Engineering Journal. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).