

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴

پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷

نوع مقاله: مروری

از ماشین تورینگ تا مبدل‌ها: مروری سیستماتیک بر تکامل هوش مصنوعی و بن‌انگاره‌های هوش مصنوعی مولد و مبدل

شمس اله قنبری*

پژوهشکده علوم کامپیوتر، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM)، تهران، ایران
پست الکترونیکی: myrshg@gmail.com

امیر محمد قنبری

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران
پست الکترونیکی: amirskampang@gmail.com

انسبه بختیاری

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، واحد آشتیان، دانشگاه آزاد اسلامی، آشتیان، ایران
پست الکترونیکی: enci.bakhtiari@gmail.com

چکیده

معماری مبدل‌ها^۲ و مدل‌های زبانی بزرگ^۳ در سال‌های اخیر نقطه عطفی در تاریخ هوش مصنوعی محسوب می‌شود. این دستاوردها نه تنها دامنه کاربردهای عملی را به شدت گسترش داده‌اند، بلکه منجر به ایجاد شکاف فزاینده‌ای بین درک عمومی از هوش مصنوعی (به عنوان فناوری‌های گفتگوی هوشمند) و تعاریف فنی آن شده‌اند. این مقاله به تحلیل محتوای پژوهش‌های معتبر بین‌المللی، سه حوزه اصلی شامل مبانی نظری و چارچوب‌های مفهومی هوش مصنوعی؛ کاربردهای مدرن و دستاوردهای کلیدی؛ چشم انداز و چالش‌های فعلی و راهکارهای پیشنهادی می‌پردازد. تحلیل‌های ارائه شده در این مقاله می‌تواند سهم قابل توجهی در درک عمیق‌تر از وضعیت فعلی و مسیر آینده توسعه هوش مصنوعی ایفا نماید.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، ماشین هوشمند، مدل‌های زبانی بزرگ، مبدل، هوش مصنوعی مولد

اصطلاح «هوش مصنوعی» اولین بار توسط جان مک‌کارتی در دهه ۱۹۶۰ ابداع شد و در دهه ۱۹۷۰ به عنوان شاخه‌ای مستقل از علوم کامپیوتر تثبیت گردید. در مراحل اولیه، هدف اصلی هوش مصنوعی توسعه سیستم‌هایی بود که قادر به تقلید وظایف روزمره انجام شده توسط انسان‌های عادی (غیرمتخصص) بدون برنامه‌نویسی صریح باشند. از جمله نخستین تجلیات عملی این ایده می‌توان به سیستم‌های بازی مانند الگوریتم‌های شطرنج اشاره کرد. از منظر علمی، هوش مصنوعی را می‌توان ترکیبی پیشرفته از اصول بیونیک^۱ (مطالعه سیستم‌های زنده برای الهام‌گیری مهندسی) و سایبرنتیک^۲ (مطالعه سیستم‌های کنترل و ارتباطات) دانست. پیشرفت‌های انقلابی در قدرت محاسباتی طی سه دهه گذشته، توسعه نظریه‌های پیچیده و طیف گسترده‌ای از کاربردهای عملی در این حوزه را ممکن ساخته است. ظهور

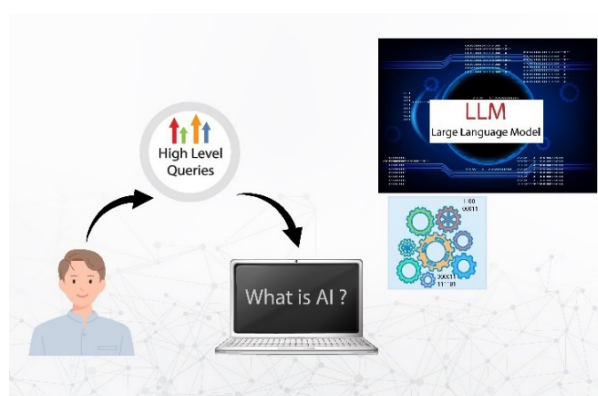
3-Transformer
4-Large language model (LLM)
5-Generative AI

1-Bionics
2-Cybernetics

* نویسنده مسئول

۱- مقدمه

رویکردی متفاوت برای حل مسئله ارائه می‌دهد. این مقاله به بررسی مفاهیم بنیادین هوش مصنوعی می‌پردازد. علاوه بر این، مروری تحلیلی بر تکامل هوش مصنوعی، از تعریف اولیه آن تا ظهور نسل‌های جدیدی مانند مولدها^۷ و مبدل‌ها ارائه می‌کند. در دهه گذشته، هوش مصنوعی به مفهومی ملموس‌تر و غنی‌تر تبدیل شده است. تغییر بن‌انگاره^۸ از کدنویسی انسانی به کد تولید شده توسط ماشین، تحولی اساسی در رویکرد به حل مسئله و اتوماسیون نمایان‌گر شده است [۳، ۴]. این پیشرفت به کاربران امکان می‌دهد درخواست‌های سطح بالا را به زبان طبیعی ارائه دهند، به جای این که کدهای پیچیده را به زبان‌های برنامه‌نویسی بنویسند. در اصل، سیستم‌های هوش مصنوعی مدرن اکنون قادرند این درخواست‌ها را تفسیر کرده و به طور مستقل کدهای اجرایی مورد نیاز را تولید کنند (شکل ۱) [۵]



شکل ۱. کاربران هوش مصنوعی با درخواست‌های سطح بالا

۲- مبانی هوش مصنوعی

براساس آنچه گفته شد هوش مصنوعی باید قادر به انجام وظایفی باشد که به‌طور سنتی به هوش انسانی نیاز دارند گرچه این امر با اتکا بر فناوری‌های پیشرفته کامپیوتر در حوزه سخت‌افزار و نرم‌افزار امکان‌پذیر خواهد بود. این وظایف عمدتاً شامل تشخیص‌گفتار، ترجمه زبان، تصمیم‌گیری و تشخیص الگو و موارد مشابه می‌باشد. هوش مصنوعی مانند چتری، دامنه گسترده‌ای از فناوری‌ها

آیزاک آسیموف در کتاب خود [۱] با عنوان «اسرار مغز انسان» می‌نویسد: «گشودن رازهای مغز انسان، آخرین دستاورد بشریت خواهد بود». بر پایه فناوری‌هایی که تحت عنوان «هوش مصنوعی» شناخته می‌شوند و با بهره‌گیری از حوزه‌های مهندسی مانند محاسبات و رباتیک، می‌توان ماشین‌ها یا ابزارهای هوشمندی ساخت که سریع‌تر، دقیق‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر از هم‌تایان زیست‌شناختی خود عمل کنند [۲]. این قابلیت‌ها، مهمترین مزیت هوش مصنوعی می‌باشد. در مورد هوش مصنوعی اغراق‌های زیادی وجود دارد. برخی معتقدند هوش مصنوعی می‌تواند کارهایی خارق‌العاده انجام دهند، اما این برداشت کاملاً دقیق نیست، گرچه هوش مصنوعی قادر است کارهایی را انجام دهد که در زمان‌های گذشته غیرقابل انجام بوده است. در حقیقت، هوش مصنوعی یک سیستم مبتنی بر قواعد است. به عبارتی مجموعه از کدهای برنامه‌نویسی شده است. برخلاف برنامه‌نویسی سنتی که در آن تولیدکنندگان به صورت دستی مسائل را به الگوریتم‌ها و کد تبدیل می‌کنند، هوش مصنوعی معاصر به کامپیوترها این امکان را می‌دهد که به طور مستقل برنامه‌ها را تولید کنند. با این حال، درک محدودیت‌های هوش مصنوعی حائز اهمیت است. درحالی که برخی هوش مصنوعی را به عنوان یک راه حل جادویی می‌بینند، دانشمندان کامپیوتر و متخصصان هوش مصنوعی معتقدند که هوش مصنوعی در اصل شبیه‌سازی الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت است و قدرت واقعی آن عمدتاً به زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری قوی مانند واحدهای پردازش گرافیکی^۶ وابسته است، نه به هیچ «هوش ذاتی». برنامه‌نویسی سنتی پیچیدگی‌های محاسباتی زیادی دارند، روش‌های هوش مصنوعی در نگاه اول راه‌حلی قدرتمند برای برطرف‌سازی پیچیدگی‌های محاسباتی روش‌های سنتی است. به عبارتی هوش مصنوعی جایگزین خلاقیت انسانی نمی‌شود، بلکه صرفاً

7-Generative artificial intelligence

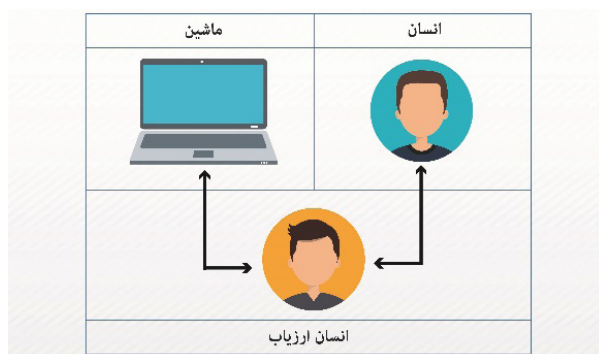
8-Paradigm

6-Graphics processing unit (GPU)

جدول ۱: تحولات مرتبط با هوش مصنوعی از دهه ۱۹۵۰ تا دهه ۲۰۲۰

مرجع	بازه زمانی (دهه)	تحولات کلیدی در هوش مصنوعی
[۹، ۸، ۶]	۱۹۴۰-۱۹۵۰ تولد هوش مصنوعی	توسعه اولین کامپیوترهای قابل برنامه‌نویسی برای آزمایش‌های هوش مصنوعی کار نظری آلن تورینگ، در کنفرانس دارتموث (۱۹۵۶)، که هوش مصنوعی را به عنوان یک رشته تثبیت کرد
[۱۲، ۱۰]	۱۹۶۰-۱۹۷۰ شکل‌گیری اولین تحقیقات در هوش مصنوعی	الیزا ۱۹۶۶؛ اولین سیستم پردازش زبان طبیعی و ساخت روبات متمرکز بر سیستم‌های خبره و تشخیص گفتار
[۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱]	۱۹۸۰-۱۹۹۰ زمستان هوش مصنوعی و احیا	به علت کاهش بودجه تحقیقاتی در هوش مصنوعی این دوره به عنوان زمستان هوش مصنوعی نامیده می‌شود. در این دوره پیشرفت در استدلال احتمالی و بهبود الگوریتم‌های یادگیری ماشین انجام گرفت و در سال‌های آخر دهه احیا شد.
[۱۶، ۱۵]	۲۰۰۰ ظهور یادگیری ماشین و کلان‌داده	گسترش هوش مصنوعی مبتنی بر داده؛ دستاوردها در ماشین بردار پشتیبان و روش‌های گروهی افزایش قدرت محاسباتی
[۱۹، ۱۸، ۱۷]	۲۰۱۰ انقلاب یادگیری عمیق	سلطه شبکه‌های عصبی ادغام هوش مصنوعی در فناوری مصرفی (دستیاران، سیستم‌های پیشنهادگر)
[۲۳، ۲۲، ۲۱، ۲۰]	۲۰۲۰ عصر هوش مصنوعی تولیدی	مدل‌های زبانی بزرگ تحول صنایع (سلامت، مالی، هنر)؛ تغییر از اتوماسیون به خلاقیت شتاب‌دهی با پردازنده‌های جی.پی.یو

در سال ۱۹۵۰، آلن تورینگ مقاله تأثیرگذار خود [۵]، با عنوان «محاسبات ماشینی و هوشمندی» را منتشر کرد که این پرسش اساسی را بررسی می‌کرد: آیا ماشین‌ها می‌توانند فکر کنند؟ این اثر پایه‌های نظری هوش مصنوعی را بنا نهاد و آزمون تورینگ را به عنوان عیاری برای ارزیابی هوش ماشینی معرفی کرد [۷، ۸] با این حال هوش مصنوعی مبانی متفاوت دارد و از مبناهای کامپیوتر، ریاضیات، اقتصاد، زبان شناسی، علوم اعصاب، و حتی مبانی فلسفه تأثیر می‌پذیرد. به هرحال هوش مصنوعی از دهه ۱۹۵۰ تاکنون شاهد تحولات چشم‌گیری بوده است جدول (۱).

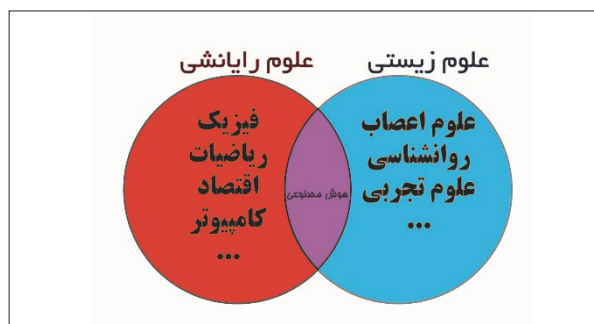


شکل ۳. آزمون تورینگ

۳- انگیزه‌های ایجاد هوش

حل مسائل پیچیده ریاضی و محاسباتی همواره یکی از چالش‌های اصلی علوم کامپیوتر و ریاضیات کاربردی

مانند یادگیری ماشین^۹، یادگیری عمیق^{۱۰}، پردازش زبان طبیعی^{۱۱}، استنتاج و روش‌های جستجو را در بر می‌گیرد تا بتواند این وظایف را انجام دهد.



شکل ۲. هوش مصنوعی پلی بین علوم زیستی و علوم رایانشی است

هوش مصنوعی در تقاطع علوم زیستی، علوم رایانشی قرار دارد و پلی بین شناخت انسانی و سیستم‌های محاسباتی ایجاد می‌کند (شکل ۲). به عبارت دیگر هوش مصنوعی، اصول علوم اعصاب، روانشناسی رفتاری و زیست‌شناسی تکاملی را به چارچوب‌های الگوریتمی مبتنی بر ریاضیات، فیزیک و نظریه اطلاعات ترجمه می‌کند. این ترکیب به ماشین‌ها امکان شبیه‌سازی فرایندهای شناختی را می‌دهد و در عین حال حقایق بنیادین درباره سیستم‌های طبیعی را آشکار می‌سازد [۶، ۷]

9-Machine Learning
10-Deep Learning
11-Natural language processing (NLP)

جدول ۲: مقایسه‌ای روش کلاسیک (الگوریتمی) و هوش مصنوعی (فراابتکاری)

مسئله بفرنج	روش هوش مصنوعی (فرا ابتکاری)	روش کلاسیک (قطعی)	منابع
فروشنده دوره‌گرد ^{۱۳}	الگوریتم: الگوریتم ژنتیک ^۴ ، کلونی مورچگان ^{۱۵} دقت: نزدیک به بهینه (حدوداً ۹۵-۹۹٪) زمان: چند ثانیه تا دقیقه برای $n=1000$	الگوریتم: بررسی تمام حالت‌ها ^{۱۶} (جستجوی فراگیر) برنامه‌نویسی پویا ^{۱۷} دقت: بهینه مطلق زمان: $O(n!)$ - غیرعملی برای $n > 20$	[۲۶]
کوله‌پشتی ^{۱۸}	الگوریتم: الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات ^{۱۹} دقت: بسیار بالا (حدوداً ۹۸-۱۰۰ درصد) زمان: بسیار سریع، حتی برای n های بزرگ.	الگوریتم: برنامه‌نویسی پویا دقت: بهینه مطلق زمان $O(n*W)$: برای ظرفیت (W) بزرگ غیرعملی است	[۲۷]
پوشش مجموعه ^{۲۰}	الگوریتم: الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی کلونی مورچگان دقت: اغلب بهتر از الگوریتم حریصانه زمان: سریع تا متوسط	الگوریتم: الگوریتم حریصانه ^{۲۱} دقت: پاسخ تقریبی با ضریب تضمین شده زمان: سریع (مرتبه $\log(n)$)	[۲۸]
رنگ‌آمیزی گراف	الگوریتم: جستجوی ممنوعه ^{۲۲} ، شبیه‌سازی تبرید ^{۲۳} دقت: یافتن تعداد رنگ‌های کمتر زمان: متوسط تا آهسته	الگوریتم: الگوریتم حریصانه دقت: خوب، اما نه بهینه زمان: سریع	[۲۹]
مسیریابی وسیله ^{۲۴}	الگوریتم: الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچگان و بهینه‌سازی ازدحام ذرات دقت: راه‌حل‌های عملی و بسیار کارآمد زمان: چند دقیقه تا ساعت برای نمونه‌های بزرگ	الگوریتم: شاخه و کران ^{۲۵} دقت: بهینه برای نمونه‌های کوچک زمان: غیرعملی برای نمونه‌های واقعی	[۳۰]
زمان‌بندی وظایف	الگوریتم: جستجوی همسایگی متغیر، الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید، جستجوی متغیر محلی ^{۲۶} دقت: یافتن زمان‌بندی‌های بسیار کارآمد زمان: ثانیه تا ساعت بسته به پیچیدگی	الگوریتم: جستجوی کامل دقت: بهینه زمان: غیرممکن برای بیش از ۱۵ کار و ۵ ماشین	[۳۱]
مسئله برش	الگوریتم: الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید دقت: رقابتی با روش‌های کلاسیک زمان: سریع برای یافتن پاسخ اولیه خوب	الگوریتم: ستون‌سازی ^{۲۷} دقت: بسیار خوب، نزدیک به بهینه زمان: می‌تواند برای مسائل بزرگ کند باشد	[۳۲]
پوشش رأس	الگوریتم: الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات دقت: می‌تواند بهتر از ضریب ۲ عمل کند زمان: سریع	الگوریتم: الگوریتم تقریبی دقت: ضریب تقریب زمان: سریع	[۳۳]

13-Travelling salesman problem (TSP)

14-Genetic algorithm

15-Ant colony optimization algorithms (ACO)

16-brute-force

17-Dynamic programming

18-Knapsack problem

19-Particle swarm optimization (PSO)

20-Set cover problem

21-Greedy algorithm

22-Tabu search

23-Simulated annealing (SA)

24-Vehicle routing problem (VRP)

25-Branch and bound

26-Variable Neighborhood Search

27-Column Generation

بوده است. می‌توان ادعا کرد که یکی از انگیزه‌های اولیه برای ابداع و توسعه هوش مصنوعی، ارائه راه‌حل‌های عملی برای حل این دسته از مسائل سخت و بفرنج^{۱۳} بوده است که حل آنها با روش‌های کلاسیک و سنتی برای ابعاد واقعی غیرعملی یا بسیار زمان‌بر است [۲۵، ۲۶] در جدول (۲) مسائل بفرنج ریاضی با استفاده از هوش مصنوعی و روش سنتی مقایسه شده‌اند. مقایسه این دو ستون به خوبی نشان می‌دهد که چگونه هوش مصنوعی با ارائه راه‌حل‌های تقریبی اما کارآمد، مرزهای محاسبات و حل مسئله را جابه‌جا کرده و امکان مدل‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده را که پیش از این غیرقابل تحلیل بودند، فراهم آورده است.

۴- رویکردهای حل مسئله در هوش مصنوعی

هوش مصنوعی مسائل را از طریق سه روش بنیادین مورد بررسی قرار می‌دهد که هر یک برای انواع خاصی از چالش‌ها مناسب هستند جدول (۳).

روش اول: روش‌های مبتنی بر یادگیری است که از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق بهره می‌برند و برای کارهای تشخیص الگو که داده‌های آموزشی کافی وجود دارد، ایده‌آل هستند. این رویکردها کاربردهایی مانند تشخیص تصویر و پردازش زبان طبیعی را ممکن می‌سازند، جایی که سیستم‌ها باید الگوهای پیچیده را در مجموعه داده‌های بزرگ شناسایی کنند. رویکرد دوم روش‌های مبتنی بر منطق هستند. این رویکرد برای مسائل مبتنی بر قواعد مشخص که نیازمند استدلال دقیق هستند، موثرتر است. این روش‌ها بر قواعد از پیش تعریف شده و استنتاج قطعی تکیه دارند و برای سیستم‌های خبره و اثبات قضایای ریاضی ارزشمند هستند. برخلاف روش‌های یادگیری که دانش را از داده استخراج می‌کنند، هوش مصنوعی مبتنی بر منطق از استدلال رسمی برای رسیدن به نتایج قطعی استفاده می‌کند. رویکرد سوم روش جستجو می‌باشد.

جدول ۳: رویکردهای حل مسئله در هوش مصنوعی

رویکرد حل مساله	روش‌های اصلی	کاربردهای عملی
یادگیری	شبکه‌های عصبی، داده‌کاوی	تشخیص چهره، ترجمه ماشینی
منطق / استدلال	سیستم‌های مبتنی بر قانون	تشخیص پزشکی، برنامه‌ریزی خودکار
جستجو	الگوریتم‌های بهینه‌سازی	برنامه‌ریزی مسیر، هوش مصنوعی بازی‌ها

انواع یادگیری ماشین:

- یادگیری نظارت شده^{۲۸}: مدل از داده‌های برچسب‌دار یاد می‌گیرد تا پیش‌بینی کند.
 - یادگیری نظارت نشده^{۲۹}: مدل الگوها یا ساختارهای پنهان در داده‌های بدون برچسب را کشف می‌کند.
 - یادگیری تقویتی^{۳۰}: مدل از طریق آزمون و خطا و با استفاده از بازخورد (پاداش / تنبیه) یاد می‌گیرد.
- الگوریتم‌های رایج یادگیری ماشین شامل رگرسیون خطی برای مدل‌سازی پیش‌بینانه، درخت‌های تصمیم^{۳۱} برای وظایف طبقه‌بندی و رگرسیون، ماشین‌های بردار پشتیبان^{۳۲} برای طبقه‌بندی ابعاد بالا، شبکه‌های عصبی^{۳۳} برای تشخیص الگوهای پیچیده، و خوشه‌بندی^{۳۴} برای تقسیم‌بندی داده‌های نظارت نشده هستند.

۴-۲- شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی، معماری‌های یادگیری ماشینی الهام‌گرفته از طبیعت (زیست شناسی) هستند که عمدتاً اصول ساختاری و عملکردی مغز انسان و موجودات زنده دیگر را شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها از واحدهای محاسباتی به هم پیوسته (نورون‌ها) تشکیل شده‌اند که در لایه‌های متوالی سازمان‌یافته‌اند. معماری اصلی شامل موارد زیر است:

- لایه ورودی^{۳۵}: لایه ورودی که داده‌ها را دریافت می‌کند.

روش‌های مبتنی بر جستجو زمانی به کار می‌آیند که چالش شامل بررسی حالت‌های ممکن برای یافتن مسیرهای بهینه باشد. این تکنیک‌ها در سناریوهایی مانند الگوریتم‌های یافتن مسیر و هوش مصنوعی بازی‌های راهبردی عالی عمل می‌کنند، جایی که سیستم باید فضاهای راهحل محدود را به طور مؤثر پیمایش کند. با ارزیابی سیستماتیک حالت‌های ممکن، رویکردهای مبتنی بر جستجو می‌توانند مؤثرترین راهحل‌ها را برای «مسائل به‌خوبی تعریف شده» شناسایی کنند. رویکرد سوم روش‌های حل مسائل در هوش مصنوعی تکنیک‌های جستجو نامیده می‌شوند. که در مسائل بهینه‌سازی مبتنی بر جستجو، هدف یافتن راهحل بهینه (مانند کمینه یا بیشینه) از میان مجموعه‌ای از راهحل‌های ممکن مورد استفاده است. این راهحل‌ها فضای جواب را تشکیل می‌دهند که راهحل بهینه در آن قرار دارد. وظیفه الگوریتم‌های جستجوی سنتی، کاوش این فضا و یافتن آن راهحل بهینه است. الگوریتم‌های جستجوی سنتی از رویکردهای مبتنی بر قانون، ابتکاری یا بهینه‌سازی برای حل مسائل پیچیده استفاده می‌کنند [۲].

سیستم‌های هوش مصنوعی مدرن به طور فزاینده‌ای این رویکردها را برای حل چالش‌های پیچیده دنیای واقعی ترکیب می‌کنند. یک سیستم تشخیص چهره ممکن است یادگیری عمیق را برای تشخیص ویژگی‌ها با قواعد منطقی برای تأیید امنیتی تلفیق کند، در حالی که یک دستیار هوشمند می‌تواند پردازش زبان طبیعی را با استدلال و انتخاب پاسخ بهینه ترکیب کند. این ادغام روش‌شناسی‌ها نشان‌دهنده یک نقطه قوت کلیدی هوش مصنوعی معاصر است که قابلیت‌های حل مسئله انعطاف‌پذیرتر و قدرتمندتری را در کاربردهای متنوع ممکن می‌سازد [۳۴].

۴-۱- یادگیری ماشین

یادگیری ماشین بر توسعه الگوریتم‌ها و مدل‌های آماری تمرکز دارد که به کامپیوترها امکان می‌دهد بدون برنامه‌نویسی صریح، از داده‌ها یاد بگیرند و پیش‌بینی یا تصمیم‌گیری کنند [۳۵].

28-Supervised Learning

29-Unsupervised Learning

30-Reinforcement Learning

31-Decision tree

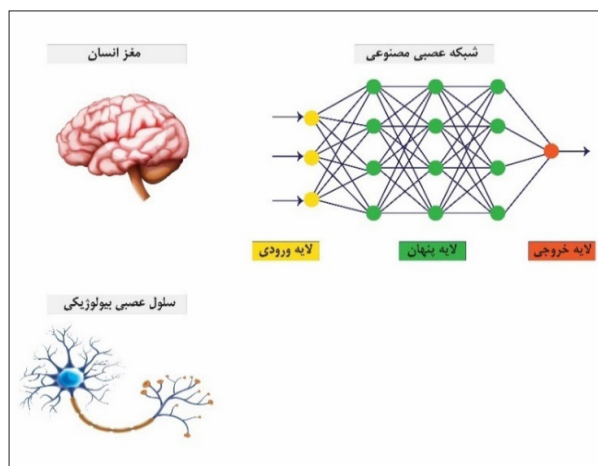
32-Task

33-Support vector machine (SVM)

34-Artificial Neural Networks (ANN)

35-k-means clustering

36-Input Layer



شکل ۴: یک سلول عصبی بیولوژیکی و سلول مصنوعی

شبیه‌سازی می‌کنند که اطلاعات را به روشی مشابه همتایان بیولوژیکی خود پردازش می‌کنند. هر نورون مصنوعی (یا گره) سیگنال‌های ورودی را دریافت می‌کند، وزن‌های قابل تنظیم-پارامترهایی که قدرت سیناپسی را شبیه‌سازی می‌کنند- به این ورودی‌ها اعمال می‌کند و از طریق یک تابع فعال‌سازی، خروجی تولید می‌کند. پیچیدگی و ظرفیت یادگیری یک شبکه عصبی مصنوعی اساساً توسط تعداد کل پارامترهای آن (وزن‌ها) تعیین می‌شود، به طوری که شبکه‌های بزرگتر دارای قدرت نمایشی بیشتری برای مدل‌سازی الگوها و روابط پیچیده در داده‌ها هستند [۱، ۲]. جدول (۴) پارامترهای موجود در یک شبکه عصبی را با یک شبکه بیولوژیکی مقایسه می‌کند.

جدول ۴: مقایسه سلول عصبی مصنوعی و بیولوژیکی

نورون مصنوعی	نورون بیولوژیکی
لایه ورودی داده‌ها را دریافت می‌کند	دندریت‌ها سیگنال‌ها را دریافت می‌کنند
وزن‌ها اهمیت ورودی را تنظیم می‌کنند	سیناپس‌ها سیگنال‌ها را تعدیل می‌کنند
تابع فعال‌سازی خروجی را تولید می‌کند	آکسون خروجی را انتقال می‌دهد

۴-۳- یادگیری عمیق

یادگیری عمیق یک بُن‌انگاره پیشرفته از یادگیری ماشین است که از شبکه‌های عصبی با چندین لایه سلسله‌مراتبی

● لایه‌های پنهان^{۳۷}: لایه پنهان که به تدریج ویژگی‌های سلسله‌مراتبی را از طریق تبدیل‌های غیرخطی استخراج می‌کنند.

● لایه خروجی^{۳۸}: لایه خروجی که پیش‌بینی‌های خاص وظیفه را تولید می‌کند.

شکل (۴) نمونه از شبیه‌سازی عصب بیولوژیکی را نشان می‌دهد. در عمل در موجودات تکامل یافته ای مانند انسان حدوداً ۱۰۱۱ سلول عصبی (نورون) وجود دارد. این سلول‌های عصبی در سراسر بدن انسان به صورت فیبرهای عصبی یا شبکه‌های عصبی قرار گرفته‌اند. بخش مهم شبکه‌های عصبی در مغز انسان قرار می‌گیرد، که علاوه بر یادگیری شامل فرایندهای تصمیم‌گیری نیز می‌باشند. در نمونه‌های شبیه‌سازی شده نیز شبکه‌های عصبی مختلف پیشنهاد شده‌اند که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته خواهد شد [۲]:

انواع اصلی شبکه‌های عصبی [۳۶]:

- شبکه‌های عصبی پیش‌خور^{۳۹}: جریان یک‌طرفه اطلاعات از لایه ورودی به خروجی،
- شبکه‌های عصبی هم‌آمیختی^{۴۰}: بهینه‌شده برای پردازش داده‌های فضایی (مانند تصاویر و قاب‌های ویدیویی)،
- شبکه‌های عصبی بازگشتی^{۴۱}: طراحی شده برای تحلیل داده‌های متوالی (مانند متن، گفتار و سری‌های زمانی).

این معماری‌ها پایه‌گذار کاربردهای تحول‌آفرین در حوزه‌های مختلف هوش مصنوعی هستند، از جمله سیستم‌های بینایی ماشین، سیستم‌های تشخیص گفتار، خطوط پردازش زبان طبیعی، سیستم‌های رانندگی خودکار و بُن‌سازهای پیشنهاد شخصی‌شده.

همان‌طور که گفته شد شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های محاسباتی هستند که از ساختار و عملکرد شبکه‌های عصبی بیولوژیکی در مغز انسان الهام گرفته‌اند. این سیستم‌ها نورون‌های مصنوعی به هم پیوسته‌ای را

37-Hidden Layer

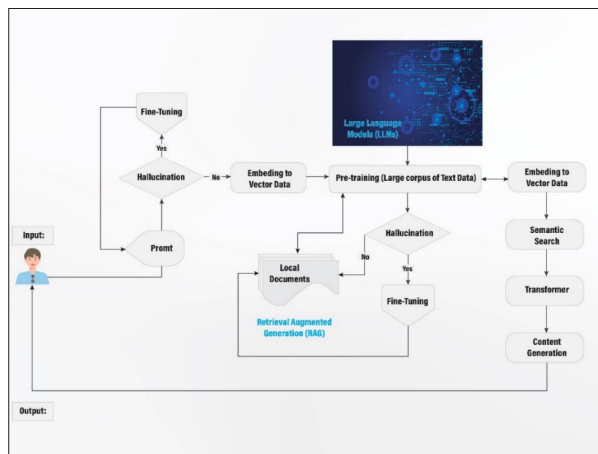
38-Output Layer

39-Feedforward neural network (FNN)

40-Convolutional neural network (CNN)

41-Recurrent neural network (RNN)

قابل توجه می‌توان به سری جی.پی.تی از شرکت اوپن.ای. آی [۳]، برت^{۴۵} [۴۰، ۳۹]، تی.۵^{۴۶} از شرکت گوگل و لاما^{۴۷} [۴۱] از شرکت متا اشاره کرد. شکل (۵) معماری و عملکرد سیستم‌هایی که بر پایه مدل‌های زبانی بزرگ طراحی شده‌اند را نشان می‌دهد.



شکل ۵: معماری مدل زبانی بزرگ

۴-۴-۱- فرایند تولید پروژه هوش مصنوعی براساس مدل‌های زبانی بزرگ

جدول (۵) مراحل اصلی انجام یک فرایند هوش مصنوعی براساس مدل‌های زبانی بزرگ را نشان می‌دهد. برخلاف سیستم‌های سنتی پردازش زبان طبیعی که مبتنی بر تحلیل معنایی قانون‌محور هستند و در محدوده‌های خاص و با استفاده از مجموعه داده‌های محدود عمل می‌کنند، مدل‌های زبانی بزرگ از شناسایی الگوهای آماری در پیکره‌های آموزشی بسیار متنوع بهره می‌برند. این تفاوت بنیادی به مدل‌های زبانی بزرگ امکان می‌دهد تا به عنوان موتورهای متنی همه‌منظوره عمل کنند، نه ابزارهای از پیش تعریف شده محدود. با این حال، هر چند مدل‌های زبانی بزرگ هماهنگی قابل توجهی در تولید خروجی‌ها نشان می‌دهند، اما از طریق پیش‌بینی الگوها عمل می‌کنند، نه درک واقعی. این موضوع تفاوت حیاتی بین درک زبانی شبیه‌سازی شده و واقعی را برجسته می‌سازد [۴۲].

معروف به شبکه‌های عصبی عمیق^{۴۲} برای استخراج خودکار انتزاعات سطح بالا از مجموعه داده‌های بزرگ استفاده می‌کند. معماری‌های اصلی شامل موارد زیر هستند [۳۷، ۳۸]:

- شبکه‌های عصبی هم‌آمیختی که برای استخراج ویژگی‌های فضایی در داده‌های بصری بهینه‌سازی شده‌اند؛
- شبکه‌های عصبی بازگشتی که برای مدل‌سازی وابستگی‌های زمانی در داده‌های متوالی (مانند متن، گفتار) طراحی شده‌اند؛
- شبکه‌های هم‌آوردی مولد^{۴۳} که از چارچوب‌های مولد-متمايزکننده هم‌آوردی برای ترکیب خروجی‌های واقع‌گرایانه استفاده می‌کنند.

به طور کلی، پیچیدگی مدل براساس تعداد پارامترها سنجیده می‌شود جایی که افزایش پارامترها ظرفیت نمایشی را افزایش می‌دهد، اما خطر بیش‌برازش را نیز افزایش می‌دهد (تعامل^{۴۴} دقت و سرعت). همان‌طور که در جی.پی.تی.۳ با ۱۷۵ میلیارد پارامتر مشاهده می‌شود.

۴،۴- مدل‌های زبانی بزرگ

مدل‌های زبانی بزرگ، نماینده‌ای از دسته‌ای از الگوریتم‌های یادگیری عمیق هستند که برای پردازش زبان طبیعی به طور اختصاصی مورد استفاده واقع شده‌اند. این مدل‌های زبانی از معماری‌های مبدلی استفاده می‌کنند که بر روی مجموعه داده‌های عظیم آموزش دیده‌اند تا وظایفی مانند تشخیص متن، ترجمه، پیش‌بینی و تولید شبه‌انسانی را انجام دهند. این مدل‌ها با سه ویژگی تعیین‌کننده مشخص می‌شوند: طراحی مبتنی بر مبدل که از سازوکارهای خودتوجهی برای درک متنی استفاده می‌کند؛ آموزش بر روی پیکره‌های گسترده شامل ویکی پدیا، کتاب‌ها، مقالات و کد؛ قابلیت‌های چندوظیفه‌ای همه‌جانبه شامل خلاصه‌سازی، ترجمه و تولید خلاقانه. از پیاده‌سازی‌های

42-Deep Neural Networks (DNN)

43-Generative Adversarial Networks

44-Trade of

45-Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT)

46-T5

47-Large Language Model Meta AI (LLaMA)

۴-۴-۲- معماری تولیدی^{۶۵} با مدل‌های زبانی بزرگ [۴۳، ۴۴]
معماری تولیدی مبتنی بر مدل‌های زبانی بزرگ از معماری مبدل- پایه مدل‌های زبانی مدرن- استفاده می‌کند تا با بهره‌گیری از هوش مصنوعی پیشرفته، خروجی‌های متنوعی شامل متن، تصویر، صوت و داده‌های ساختاریافته تولید کند. این معماری امکان تولید پویای محتوا در حوزه‌های متعدد را فراهم می‌سازد، با قابلیت‌های کلیدی مانند:

- تولید متن (مانند مقالات، داستان‌ها و کد)
- تولید تصویر (مثلاً از طریق ادغام با ابزارهایی مانند دال‌ای^{۶۶} یا انتشار پایا^{۶۷})
- تولید صوت (شامل سنتز گفتار و موسیقی)،
- خروجی داده‌های ساختاریافته (مانند جی.سان و ایکس.ام.ال^{۶۸} برای رابط برنامه‌های کاربردی یا پایگاه‌های داده)،
- خلاصه‌سازی و بازنویسی (فشرده‌سازی اسناد یا بازنویسی متن).

انعطاف ذاتی این معماری، آن را به ابزاری قدرتمند برای خودکارسازی و ارتقای گردش‌های کاری خلاقانه و تحلیلی تبدیل کرده است [۴۵، ۲۰].

هوش مصنوعی تولیدی نشان‌دهنده یک تغییر بن‌انگاره در تحقیقات هوش مصنوعی است. این تغییر با چند جنبه کلیدی مشخص می‌شود که شامل مدل‌های زبانی بزرگ، دگرگونی در صنایع مختلف، متغیر اقتصادی جدید، تغییر از اتوماسیون به خلاقیت، و فناوری پردازنده‌های گرافیکی مانند انویدیا^{۶۹} می‌شود [۴۳، ۴۴].

۴-۴-۳- مبدل چیست؟

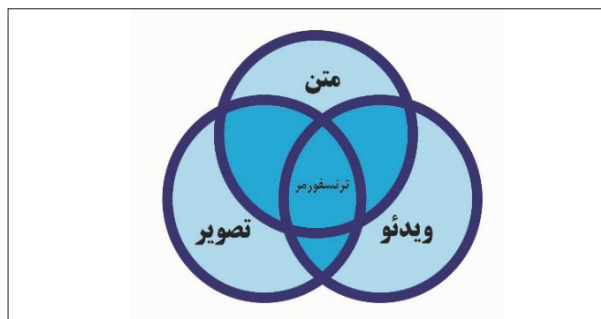
مبدل یک معماری یادگیری عمیق است شکل (۷)، که عمدتاً در پردازش زبان طبیعی استفاده می‌شود و در مقاله انقلابی در سال ۲۰۱۷ که توسط وازوانی^{۷۰} و همکاران معرفی شد. این معماری شکل (۶) از طریق سازوکار

جدول ۵: مراحل انجام یک پروژه مبتنی بر مدل زبانی بزرگ

مرحله	هدف	ابزار / تکنیک	نمونه ابزارها / چارچوب‌ها
طراحی پرسش ^{۴۹}	بهبود دقت مدل با مثال‌های آماده	یادگیری چندنمونه‌ای ^{۴۸}	OpenAI Playground, LangChain
	تقسیم پرسش پیچیده به مراحل ساده‌تر	زنجیره‌سازی پرسش	Dust, Promptfoo
توکن‌سازی	تبدیل متن به توکن‌های قابل پردازش	کدگذاری جفت‌بایت ^{۵۰}	Hugging Face Tokenizers, SentencePiece
پاک‌سازی داده‌ها	حذف نویز ^{۵۱} و استانداردسازی متن (مثلاً نرمال‌سازی حروف عربی)	یکسان‌سازی متن	NLTK, spaCy
	حذف داده‌های تکراری	حذف داده‌های تکراری	Pandas, Data-bricks
جاسازی ^{۵۲}	تبدیل کلمات به بردارهای عددی	تبدیل کلمه به بردار ^{۵۳}	Gensim, FastText
	تولید جاسازی‌های آگاه از متن	مبتنی بر مبدل	Hugging Face Transformers
مدل پایه	پردازش متن با استفاده از مکانیزم‌های توجه	معماری‌های مبدلی جی.بی.تی ^۴ ، لامبا، برت	
	آموزش اولیه روی داده‌های عمومی	پیش‌آموزش ^{۵۴}	Megatron-LM, DeepSpeed
ریزتنظیمی ^{۵۶}	سازگاری مدل با پارامترهای محدود	لورا ^{۵۵}	Hugging Face PEFT, QLoRA
	تنظیم تمام پارامترهای مدل	ریزتنظیمی کامل	PyTorch, Tensor-Flow
بازیابی ^{۵۸}	ترکیب مدل با دانش خارجی	رای ^{۵۷}	FAISS, Pinecone, Weaviate
	جستجوی مبتنی بر معنا (فراتر از کلیدواژه‌ها)	جستجوی معنایی	Elasticsearch, Vespa
استنتاج ^{۶۰}	فشرده‌سازی مدل برای سخت‌افزارهای محدود	کمی‌سازی ^{۵۹}	GGML, GPTQ, AWQ
	تولید پاسخ‌های پهنه‌شده	جستجوی پرتو ^{۶۱}	vLLM, Hugging Face Pipelines
ارزیابی	سنجش کیفیت متن تولیدشده	پرپلکسیتی ^{۶۲}	Hugging Face Evaluate
	ارزیابی خلاصه‌سازی / ترجمه	ROUGE/BLEU	NLTK, SacreBLEU
استقرار ^{۶۴}	تحويل مدل به کاربران نهایی	نقاط پایانی ای.پی.آی ^{۶۳}	GPT, DeepSeek

- 48-Few-Shot
49-Prompt
50-Byte-pair encoding (BPE)
51-Noise
52-word2vec
53-Embedding
54-Pretraining
55-Long Range (LoRa)
56-Fine-Tuning
57-Retrieval-augmented generation (RAG)
58-Retrieval
59-Quantization
60-Inference
61-Beam Search
62-Perplexity (PPL)
63-Application Programming Interface (API)
64-Deployment

65-Generation
66-Dall-E
67-Stable Diffusion
68-JSON/XML
69-Nvidia-H200
70-Vaswani



شکل ۷: مبدل برای تبدیل متن، تصویر، ویدئو و سایر مستندات

آی توسعه یافته‌اند، نماد پیشرفت در حوزه مدل‌های زبانی بزرگ هستند. این سیستم‌ها مبتنی بر معماری مبدل ساخته شده و با آموزش بر روی حجم عظیمی از داده‌های متنی، توانایی تولید متون روان و منسجم در پاسخ به درخواست‌های کاربران را دارند. قابلیت‌های اصلی این مدل‌ها شامل انجام وظایف متنوعی از جمله ترجمه، خلاصه‌نویسی، نگارش متون و پاسخ به پرسش‌های تخصصی است که آنها را به ابزاری کارآمد در حوزه پردازش زبان طبیعی تبدیل کرده است. این سیستم‌ها با بهره‌گیری از تکنیک‌های پیشرفته یادگیری عمیق، الگوهای پیچیده زبانی را فراگرفته و قادر به درک زمینه و تولید محتوای مرتبط هستند. در جدول (۶)، جزئیات بیشتری درباره مدل جی.پی.تی-۴ ارائه شده است.

در ماه‌های اخیر دیپ-سیک^{۷۳} [۴۷]، رقیب نوظهور هوش مصنوعی چین، فضای فناوری هوش مصنوعی برای مدت کوتاهی را دگرگون نمود. سازندگان آن ادعا کردند برخلاف رقبای جهانی خود چت جی.پی.تی، تنها با ۶ میلیون دلار توسعه یافته بود این بودجه کسری از بودجه‌های ۱۰۰+ میلیون دلاری اوپن.ای.آی و گوگل به حساب می‌آید. صعود سریع این شرکت بازارها را موقتاً به لرزه درآورد و موجب کاهش سهام پیش‌تازان هوش مصنوعی مانند انویدیا و اس.ام.ال^{۷۴} هلندی شد، و نگرانی‌ها از کاهش تقاضای تراشه و هراس از ارزش‌گذاری بیش از حد این بخش را دامن زد.

با اثبات این که می‌توان هوش مصنوعی با عملکرد

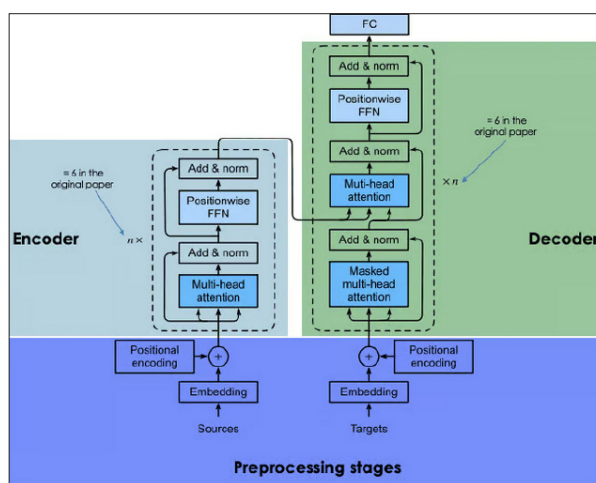
خودتوجه^{۷۱}، انقلابی در پردازش زبان طبیعی ایجاد کرد که به مدل امکان می‌دهد اهمیت بخش‌های مختلف یک دنباله ورودی را هنگام پردازش هر توکن به صورت پویا وزن‌دهی کند. این امر منجر به بهبود چشمگیر در کارایی و عملکرد نسبت به معماری‌های بازگشتی سنتی شد.

● مبدل‌ها به طور اساسی با مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی تولیدی مرتبط هستند:

● آنها ستون فقرات ۷۲ معماری مدل‌های پیشرفته را تشکیل می‌دهند،

مدل‌های زبانی بزرگ مانند جی.پی.تی و برت پیاده‌سازی‌های پیشرفته‌ای هستند که بر این پایه ساخته شده‌اند،

مدل‌های زبانی مولد به طور خاص از مبدل‌ها برای تولید خروجی‌هایی مانند متن و کد استفاده می‌کنند. در نتیجه، مدل‌های زبانی مدرن، معماری مبدل، تکنیک‌های پردازش زبان طبیعی و قابلیت‌های مولد را یکپارچه می‌کنند و آنها را به ابزارهای همه‌کاره برای وظایف مبتنی بر هوش مصنوعی تبدیل می‌نمایند [۴۶، ۲۰].



شکل ۶: معماری پایه‌ای مبدل [۲۰]

۴-۴-۴ جی.پی.تی و دیپ-سیک

خانواده مدل‌های جی.پی.تی، که توسط شرکت اپن.ای.

جدول ۷: مقایسه دیپ سیک با سایر مبدل‌ها [۴۷]

	Deep-Seek-R1	Ope-nAI-01-1217	Deep-Seek-R1-32B	Ope-nAI-01-mini	Deep-Seek-V3
AIME 2024	79.8	79.2	72.6	63.6	39.2
Code-forces	96.3	96.6	90.6	93.4	58.7
GPQA Diamond	71.5	75.7	62.1	60.0	59.1
MATH-500	97.3	96.4	91.3	90.0	90.2
MMLU	90.8	91.8	87.4	85.2	88.5
SWE-bench Verified	49.2	48.9	36.8	41.6	42

قدیمی‌ترین اشکال استدلال منطقی به یونان باستان و به ویژه به ارسطو بازمی‌گردد که پایه‌های منطق صوری را بنیان نهاد. این منطق کلاسیک که بر اساس اصولی مانند قانون هویت، قانون عدم تناقض و قانون طرد شق ثالث استوار بود، برای قرن‌ها مبنای استدلال‌های فلسفی و ریاضی محسوب می‌شد. با ظهور ریاضیات جدید در قرون اخیر، منطق نیز تحولی اساسی یافت و به ابزاری دقیق‌تر برای صورتبندی مسائل تبدیل شد [۴۸].

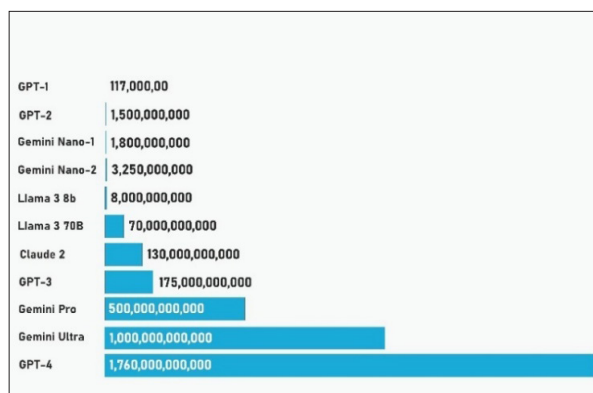
تحول اساسی در منطق با کارهای جورج بول در قرن نوزدهم آغاز شد که با معرفی جبر بول، بنیان‌های منطق ریاضی را بنا نهاد. پس از او، گوتلوب فرگه با توسعه منطق گزاره‌ها و محمولات، انقلابی در شیوه‌های صوری‌سازی استدلال‌ها ایجاد کرد. این پیشرفت‌ها زمینه را برای کاربرد منطق در علوم رایانه و هوش مصنوعی فراهم ساخت. در دهه‌های میانی قرن بیستم، منطق به عنوان یکی از ارکان اصلی هوش مصنوعی نمادی مطرح شد و در سیستم‌های خبره اولیه و برنامه‌ریزی خودکار به کار گرفته شد [۴۹].

از دهه ۱۹۶۰ به بعد، با پیچیده‌تر شدن مسائل عملی، محدودیت‌های منطق کلاسیک دوارزشی آشکار شد. این امر منجر به توسعه انواع جدیدی از منطق‌ها گردید که بهتر

بالا را با هزینه‌ای مقرون به صرفه ساخت، دیپ-سیک هنجارهای هزینه‌کرد غرب را به چالش کشیده و نفوذ چین در رقابت تسلیحاتی هوش مصنوعی را تثبیت کرد. جدول (۷) مقایسه‌ای چند جانبه از دیپ-سیک و رقبای آن را نشان می‌دهد [۴۷].

جدول ۶: جزئیاتی در مورد جی.پی.تی-۴

دسته بندی	جزییات	جزییات
سازمان	اوپن.ای.آی	دیپ-سیک هوش مصنوعی
تاریخ راه اندازی	مارس ۲۰۲۳	۲۲ ژانویه ۲۰۲۵ (نسخه دیپ-سیک-آر ۱)
پارامترهای مدل	تقریباً ۱/۸ تریلیون (تخمینی)	کل: ۶۷۱ میلیارد فعال در هر کوئری: ۳۷ میلیارد (معماری دیپ-سیک-وی ۳)
مجموعه داده آموزشی	۱۳ تریلیون توکن (متن وب، کتاب‌ها و غیره)	۱۴.۸ تریلیون توکن
سخت‌افزار آموزشی	۲۵/۰۰۰ جی.پی.یو. انویدیای A100	
مدت زمان آموزش	۹۰ روز	۵۷ روز
حجم داده	تقریباً ۱۳ تریلیون توکن	۱۴/۸ تریلیون توکن



شکل ۸. پارامترها در مدل‌های مختلف مبدل‌ها

۵- رویکرد حل مسایل مبتنی بر منطق

در قسمت‌های قبل، مدل‌های مبتنی بر یادگیری توضیح داده شد. در این قسمت به رویکرد دوم، یعنی مدل‌های مبتنی بر منطق می‌پردازیم. روش‌های مبتنی بر منطق در هوش مصنوعی ریشه در تاریخ کهن تفکر بشری دارد.

جدول ۸: مقایسه انواع منطق از نظر ساختار و ارزش‌های حقیقت

نوع منطق	ارزش‌های حقیقت	ساختار اصلی	کاربردهای اصلی
منطق دوارزشی	درست / غلط	گزاره‌های بولی	سیستم‌های دیجیتال، اثبات قضایا [۵۲]
منطق چندارزشی	چندین مقدار مثلاً (۰، ۱، ۵/۰)	گسترش منطق کلاسیک	مدل‌سازی عدم قطعیت، سیستم‌های پیچیده [۵۳]
منطق فازی	طیف پیوسته [۰ و ۱]	مجموعه‌های فازی، قواعد اگر-آنگاه	کنترل صنعتی، تصمیم‌گیری نرم [۵۰، ۵۱]
منطق بیزی	احتمالات (۰ تا ۱)	نظریه احتمال، شبکه‌های بیزی	یادگیری ماشین، تشخیص الگو [۵۴]

جدول ۹: مقایسه منطق‌های مرتبه اول و بالاتر و سایر انواع

نوع منطق	محدودیت‌ها	قابلیت‌ها	سطح انتزاع	منابع
منطق مرتبه اول	عدم توانایی در کمیت‌نمایی روی محمولات	بیان روابط کلی ∃, ∀	کمیت‌نما روی متغیرها	[۵۵]
منطق مرتبه بالاتر	پیچیدگی محاسباتی، تصمیم‌ناپذیری	مدل‌سازی ریاضیات پیشرفته	کمیت‌نما روی محمولات/توابع	[۵۶]
منطق موقت ^{۷۶}	نیاز به داده‌های زمانی ساختاریافته	تحلیل سیستم‌های مبتنی بر زمان	عملگرهای زمانی (مثل ◇, □)	
منطق ناسازگار	خروجی‌های غیرقطعی در برخی موارد	مدل‌سازی سیستم‌های متناقض	پذیرش تناقض‌ها	

جدول ۱۰: مقایسه منطق‌های قطعی و غیرقطعی

نوع منطق	مثال کاربردی	انعطاف‌پذیری	مبنای تصمیم‌گیری	منابع
منطق قطعی	سیستم‌های خبره، اثبات قضایا	پایین	قواعد صریح	
منطق فازی	کنترل دما در لوازم خانگی	بالا	درجه‌های حقیقت	[۵۷]
منطق احتمالی	پیش‌بینی بیماری‌ها	متوسط	توزیع‌های احتمال	
منطق دیالکتیک	مدل‌سازی گفتگوهای انسانی	بسیار بالا	تضاد و سنتز	[۵۸]

۶- رویکرد حل مسائل مبتنی برجستجو

در بخش‌های قبل روش‌های حل مسائل و رویکردها را براساس یادگیری و منطق مرور کردیم. در این قسمت به سومین رویکرد یعنی روش جستجو می‌پردازیم.

می‌توانستند عدم قطعیت و ابهام موجود در مسائل واقعی را مدل کنند. منطق فازی که توسط لطفی‌زاده^{۷۵} معرفی شد، امکان کار با درجه‌های مختلف حقیقت را فراهم آورد و انقلابی در کنترل سیستم‌های پیچیده ایجاد کرد. هم‌زمان، منطق‌های چندارزشی مانند منطق سه‌ارزشی لوکاسیویچ و منطق‌های ناسازگار برای مواجهه با موقعیت‌های متناقض توسعه یافتند [۵۰، ۵۱].

در هوش مصنوعی معاصر، انواع مختلفی از منطق‌ها بسته به ماهیت مسئله مورد استفاده قرار می‌گیرند. منطق گزاره‌ها و محمولات در سیستم‌های استنتاجی و اثبات قضایا به کار می‌رود، در حالی که منطق فازی در سیستم‌های کنترل و تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم قطعیت کاربرد دارد. منطق موقت برای تحلیل سیستم‌های مبتنی بر زمان و منطق معرفتی برای مدل‌سازی دانش و باور عامل‌های هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تنوع در رویکردهای منطقی، امکان حل طیف وسیعی از مسائل پیچیده را فراهم می‌آورد [۱].

امروزه، یکی از جالب‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی در هوش مصنوعی، ترکیب روش‌های منطقی با یادگیری ماشین است. سیستم‌های فازی-نورولوژی و روش‌های استدلال احتمالی نمونه‌هایی از این تلاش‌ها هستند که سعی در ترکیب قدرت استدلال دقیق منطقی با توانایی یادگیری از داده‌ها دارند. این رویکردهای ترکیبی می‌توانند زمینه‌ساز تحولات جدیدی در مواجهه با مسائل پیچیده‌ای باشند که هم نیازمند استدلال دقیق و هم انعطاف‌پذیری در یادگیری هستند. به نظر می‌رسد در آینده، توسعه منطق‌های جدید و ترکیب آنها با دیگر روش‌های هوش مصنوعی، همچنان یکی از مسیرهای اصلی پیشرفت در این حوزه خواهد بود، جدول (۸، ۹ و ۱۰) مقایسه انواع منطق‌هایی که در هوش مصنوعی به کار گرفته می‌شود را نشان می‌دهد.

۷۵- علی عسگرزاده (لطفی زاده)، استاد دانشگاه برکلی کالیفرنیا، دانشمند نابغه ایرانی تبار و بنیانگذار منطق فازی بود که در سال ۱۳۹۶ (۲۰۱۷ میلادی) در سن ۹۶ سالگی درگذشت.

۲-۶- جستجوی لغوی در مقابل جستجوی معنایی

جستجوی لغوی بر تطابق دقیق کلمات کلیدی متکی است و پرس و جوها را به عنوان رشته‌های تحت‌اللفظی پردازش می‌کند. این روش از الگوریتم‌هایی مانند جستجوی بولین، تی.اف/آی.دی.اف^{۸۱} (تعداد دفعاتی که یک کلمه در هر سند استفاده شده است تقسیم بر تعداد سندهایی که یک کلمه در آنها به کار رفته است) و ایندکس معکوس برای بازیابی سریع استفاده می‌کند. این رویکرد سخت‌گیرانه اما برای داده‌های ساختاریافته کارآمد است. به عنوان مثال: جستجوی «برنامه‌نویسی پایتون» فقط اسنادی را برمی‌گرداند که شامل هر دو کلمه باشند [۶۱].

جستجوی معنایی [۶۲] معنا و زمینه را درک می‌کند و از پردازش زبان طبیعی و یادگیری ماشین بهره می‌برد. تکنیک‌های مورد استفاده شامل جاسازی کلمات کلمه به بردار، بردارهای سراسری^{۸۲} (مدل‌های مبذل) برت، جی. پی. تی و جستجوی شباهت برداری شباهت کسینوسی، پایگاه داده برداری^{۸۳} است. این روش مترادف‌ها، بازیابی عبارات و هدف کاربر را مدیریت می‌کند. به عنوان مثال: پرس و جوی «نحوه کدنویسی در پایتون» نتایجی را بازیابی می‌کند حتی اگر عبارت دقیق وجود نداشته باشد.

۳-۶- کاربردهای مقایسه‌ای

جستجوی لغوی تطابق‌های دقیق برای اصطلاحات یا عبارات خاص را پیدا می‌کند و برای کاربردهای ساختاریافته مانند پرس و جوهای پایگاه داده، بازیابی اسناد حقوقی و جستجوی کاتالوگ محصولات تجارت الکترونیکی ایده‌آل است. در مقابل، جستجوی معنایی پشت پرس و جوها و هدف آنها را درک می‌کند. این روش ابزارهای مدرن مانند جستجوی گوگل، روبات‌های گپ‌زنی مانند جی. پی. تی، سیستم‌های توصیه‌گر و پایگاه‌های دانش سازمانی را تقویت می‌کند. جدول (۱۱) دو راهبرد جستجو (معنایی و لغوی) را از ابعاد مختلف بررسی می‌کند.

عمده کاربرد آن در مسائل بهینه سازی است. در مسائل بهینه‌سازی مبتنی بر جستجو، هدف یافتن راهحل بهینه (مانند کمینه یا بیشینه) از میان مجموعه‌ای از راهحل‌های ممکن است. این راهحل‌ها فضای جواب را تشکیل می‌دهند که راهحل بهینه در آن قرار دارد. وظیفه الگوریتم‌های جستجوی سنتی، کاوش این فضا و یافتن آن راهحل بهینه است. الگوریتم‌های جستجوی سنتی از رویکردهای مبتنی بر قانون، ابتکاری یا بهینه‌سازی برای حل مسائل پیچیده استفاده می‌کنند [۲].

۱-۶- الگوریتم‌های جستجوی پایه‌ای (سنتی)

جستجوی ای-استار^{۷۷} با ترکیب هزینه واقعی مسیر و یک تخمین ابتکاری (مانند فاصله اقلیدسی)، کوتاه‌ترین مسیر را پیدا می‌کند. این الگوریتم برای روباتیک، ناوبری سیستم موقعیت‌یاب جهانی^{۷۸} و یافتن مسیر در بازی‌ها ضروری است، اگرچه برای گراف‌های بسیار بزرگ از نظر محاسباتی پرهزینه می‌شود. الگوریتم‌های ژنتیک از انتخاب طبیعی تقلید می‌کنند- با استفاده از ترکیب، جهش و انتخاب- تا راهحل‌ها را برای کاربردهایی مانند زمان‌بندی، طراحی مهندسی و مدل‌سازی مالی به صورت تکراری بهینه‌سازی کنند [۵۹، ۶۰]. با این حال، این الگوریتم‌ها از همگرایی کند و حساسیت به تنظیم پارامترها رنج می‌برند. در مقابل، الگوریتم مینیمکس^{۷۹} (که اغلب با هرس آلفا-بتا بهبود یافته است)، حرکات در بازی‌های رقابتی را با کمینه‌سازی ضرر احتمالی و بیشینه‌سازی سود ارزیابی می‌کند و هوش مصنوعی را در شطرنج، دوز و بازی‌های راهبردی تقویت می‌کند. با این حال، پیچیدگی زمانی آن با عمیق‌تر شدن درخت تصمیم^{۸۰} به صورت نمایی رشد می‌کند. علی‌رغم محدودیت‌هایشان، این روش‌ها همچنان ابزارهای اساسی در حوزه‌های متنوع باقی‌مانده‌اند [۲].

77-A* search algorithm

78-Global Positioning System (GPS)

79-Minimax

80-Decision tree

81-Term frequency/ inverse document frequency (TF/IDF)

82-Global Vectors

83-FAISS

جدول ۱۱: مقایسه جستجوی معنایی و لغوی

جنبه	جستجوی معنایی	جستجوی لغوی
نوع تطابق	درک معنای متنی و هدف کاربر	تطابق دقیق واژه‌ها
الگوریتم‌ها	فیس، برت جمله‌ای، برت، کلمه به بردار	جستجوی بولین، ایندکس معکوس، تی.اف/آی.دی.اف [۹۵]
پردازش پرس‌وجو	مترادف‌ها، بازنویسی‌ها، اشتباهات املائی	کلیدواژه‌های تحت‌اللفظی
سرعت	کندتر (نیاز به پردازش زبان طبیعی)	سریع‌تر (بهینه‌شده برای تطابق دقیق)

روش‌های جستجوی مدرن با بهره‌گیری از هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و بازیابی مبتنی بر بردار، محدودیت‌های روش‌های سنتی را ندارند، مانند تی.اف/آی.دی.اف که با امتیازدهی به اسناد بر اساس اهمیت کلمات عمل می‌کند و هم فراوانی و هم کمیابی را وزن می‌دهد (جدول ۱۲). این روش کاربردهایی مانند موتورهای جستجو، بازیابی اسناد و فیلتر هرزنامه را پشتیبانی می‌کند اما فاقد درک معنایی است و صرفاً بر تطابق کلیدواژه‌ها متکی است. در مقابل، روش جستجوی فیس^{۸۴} (جستجوی شباهت هوش مصنوعی فیسبوک)، جست‌وجوهای تقریبی نزدیک‌ترین همسایه را در فضاها برداری چندبعدی انجام می‌دهد. این روش که برای کارایی بهینه‌سازی شده، مجموعه داده‌هایی در مقیاس میلیاردی را مدیریت می‌کند و از سیستم‌های توصیه‌گر، جستجوی تصویر و شناسایی موارد تکراری پشتیبانی می‌کند. پیشرفته‌ترین روش، یعنی جستجوی معنایی با استفاده از برت، لغت به بردار، انتقال‌دهنده جمله، از پردازش زبان طبیعی برای کدگذاری معنا در بردارها استفاده می‌کند. این امر درک آگاه از زمینه^{۸۵} از مترادف‌ها، تعبیرها و قصد کاربر را ممکن می‌سازد و ابزارهای مدرنی مانند جستجوی گوگل، روبات‌های گپ‌زنی و تحلیل اسناد حقوقی را به حرکت درمی‌آورد و به پرسش‌های پیچیده بدون نیاز به تطابق دقیق کلیدواژه‌ها پاسخ می‌دهد.

جدول ۱۲: مقایسه جستجوهای سنتی و مدرن

ویژگی	جستجوی مدرن	جستجوی سنتی
رویکرد	داده‌محور، مبتنی بر هوش مصنوعی/یادگیری ماشین	قاعده‌محور، اکتشافی محور
مقیاس‌پذیری	بسیار مقیاس‌پذیر (بهینه‌شده برای سرعت)	محدود (چالش با داده‌های حجیم)
درک زمینه	بالا (درک معنا و قصد کاربر)	پایین (فاقد درک معنایی)
انعطاف‌پذیری	انعطاف‌پذیر (یادگیری از داده‌ها)	انعطاف‌ناپذیر (قواعد ازپیش تعریف‌شده)
سرعت	پردازش اولیه کندتر، بازیابی سریع‌تر	سریع برای مسائل کوچک
نمونه کاربردها	جستجوی گوگل برت، سیستم‌های توصیه‌گر (فیس)	مسیریابی (A*)، هوش مصنوعی بازی (Min-Max)

روش‌های سنتی بهینه‌سازی در حوزه‌های مسئله‌ای خاص و محدود عملکرد برجسته‌ای دارند: الگوریتم ای.استار برای مسیریابی بیدرنگ در محیط‌های پویا مانند ناوبری پهپادها یا حرکت شخصیت‌های بازی ایده‌آل است. الگوریتم‌های ژنتیک چالش‌های پیچیده بهینه‌سازی چندمتغیره مانند لجستیک زنجیره تأمین را حل می‌کنند، در حالی که مین-ماکس پایه‌ای برای تصمیم‌گیری در بازی‌های راهبردی نوبتی از جمله هوش مصنوعی شطرنج باقی می‌ماند. این رویکردها از طریق مدل‌های ریاضی یا اکتشافی تخصصی، مسائل به‌خوبی تعریف شده را حل می‌کنند [۲]. روش‌های بازیابی مدرن مقیاس‌پذیری و درک زمینه‌ای را در اولویت قرار می‌دهند. جدول (۱۳) چندویژگی کلیدی از روش در جستجو معنایی و لغوی را نشان می‌دهد

جدول ۱۳: جستجوی معنایی و لغوی

تطابق	جستجوی معنایی	جستجوی لغوی
الگوریتم‌ها	آگاه از زمینه	مبتنی بر کلیدواژه
مورد استفاده	برت، فیس	بولین، تی.اف-آی.دی.اف
تطابق	جستجوی گوگل، روبات‌های گپ‌زنی	شناسه‌های کالا (SKU)

۴-۶- رویکردهای ترکیبی

رویکردهای ترکیبی به‌طور راهبردی روش‌های سنتی

جدول ۱۴: نقش هوش مصنوعی در داده کاوی

مؤلفه	داده کاوی با هوش مصنوعی	داده کاوی بدون هوش مصنوعی
پردازش داده	داده های بدون ساختار در مقیاس ترابایت	داده های ساختاریافته و کم حجم
الگوریتم ها	شبکه های عصبی، مبدل ها	رگرسیون خطی K میانگین پایه
دقت تحلیل	کشف روابط پنهان غیر خطی	شناسایی الگوهای سطحی
مثال کاربردی	تشخیص تقلب در تراکنش های بانکی	گزارش های مالی ماهانه
محدودیت ها	نیازمند منابع محاسباتی سنگین	ناتوان در پردازش متن/تصویر

جدول ۱۵: مقایسه داده کاوی و هوش مصنوعی

جنبه	هوش مصنوعی	داده کاوی
هدف اصلی	ایجاد سیستم های تقلیدکننده هوش انسانی	استخراج الگو از داده ها
تکنیک ها	یادگیری ماشین، پردازش زبان طبیعی، بینایی کامپیوتر	تحلیل آماری، خوشه بندی، قواعد انجمنی
وابستگی	معمولاً از داده کاوی برای پیش پردازش استفاده می کند	(مثلاً پرس و جوهای SQL) عملکرد بدون هوش مصنوعی
خروجی	اقدامات (مثلاً پیش بینی ها، تصمیم گیری ها)	بینش ها (مثلاً روندها، ناهنجاری ها)

در اصل، هر چند داده کاوی به طور تاریخی به عنوان یک رشته آماری مستقل وجود داشت و همچنان برای مسائل ساده تر کاربرد دارد، هوش مصنوعی اکنون آن را متحول کرده است. بدون هوش مصنوعی، داده کاوی معاصر قادر به مواجهه با چالش هایی مانند پردازش زبان طبیعی، تحلیل تصاویر پزشکی یا سیستم های توصیه گر شخصی سازی شده نیست. با تبدیل داده های خام به دانش های عمیق کاربردی، هوش مصنوعی داده کاوی را از ابزاری صرفاً توصیفی به موتوری پیش بینی کننده و هوشمند ارتقا داده است [۶۶]. امروزه داده کاوی با استفاده از هوش مصنوعی طیف وسیعی از کاربردها را در بر می گیرد (جدول ۱۵ و ۱۶).

و مدرن را برای بهره گیری از نقاط قوت مکمل آن ها ادغام می کنند. برای مثال، خودروهای خودران الگوریتم ای-استار را برای ناوبری مسیریابی بیدرنگ با جستجوی معنایی مبتنی بر برت برای تفسیر دستورات صوتی پیچیده تلفیق می کنند. به طور مشابه، بُن سازه های تجارت الکترونیکی تی.اف/آی.دی.اف را برای بازیابی دقیق محصولات مبتنی بر کلیدواژه و فیس را برای تطبیق شباهت چندبعدی ادغام می کنند که امکان هر دو جستجوی دقیق («آیفون ۱۵ پرو») و توصیه های هوشمندانه «محصولات مشابه» را فراهم می کند. این هم افزایی ها نیازهای چندوجهی دنیای واقعی را پوشش می دهند که سیستم های تکروشی قادر به حل آن نیستند.

۷- داده کاوی و هوش مصنوعی

پیش از توسعه هوش مصنوعی مدرن، داده کاوی عمدتاً به روش های آماری (مانند رگرسیون، تحلیل خوشه ای پایه) و مدیریت پایگاه داده متکی بود. به عنوان مثال در دهه های ۱۹۸۰-۱۹۹۰، شرکت ها از ابزارهایی مانند SPSS برای شناسایی الگوهای ساده در داده های ساختاریافته (مانند گزارش های فروش یا تحلیل بازار) استفاده می کردند. این تکنیک ها قادر به پردازش مسائل محدود با داده های کم حجم و الگوهای خطی بدون نیاز به هوش مصنوعی بودند [۲، ۶۳]. با ظهور داده های عظیم و چالش های پیچیده ای مانند پردازش زبان طبیعی یا تشخیص تصویر، هوش مصنوعی به ستون فقرات داده کاوی معاصر تبدیل شده است. تکنیک هایی مانند شبکه های عصبی عمیق، یادگیری تقویتی و مدل های پردازش زبان طبیعی مانند «برت» امکان تحلیل داده های غیرساختاریافته (متون، تصاویر)، کشف الگوهای غیرخطی و پیش بینی های چندبعدی را فراهم می کنند. سیستم های توصیه گر پیشرفته (مانند نتفلیکس یا اسپاتیفای) بدون هوش مصنوعی غیرقابل تصور بودند [۶۴، ۶۵، ۶۶]. جدول (۱۴) نشان دهنده تاثیر هوش مصنوعی در داده کاوی مدرن است.

می‌کنند و در حل مسائل پیچیده به کار گرفته می‌شوند. از بهینه‌سازی مسیرها تا یادگیری عمیق، این رویکردهای الهام‌گرفته از طبیعت نشان‌دهنده قدرت و انعطاف‌پذیری هوش مصنوعی در تقلید از هوشمندی طبیعی هستند. این روش‌ها نه تنها کارایی بالایی در حل مسائل دارند، بلکه گاهی از راه‌حل‌های طبیعت نیز فراتر عمل می‌کنند. برخی از این دسته الگوریتم‌ها در این قسمت به طور خلاصه تشریح می‌شوند. همچنین دسته‌بندی‌های متفاوت از نظر کاربرد، عملکرد و پیچیدگی در جدول (۱۷) آمده است.

الگوریتم ژنتیک: الگوریتم ژنتیک از اصول تکامل طبیعی داروین الهام گرفته شده است. این الگوریتم بر روی یک جمعیت از راه‌حل‌های کدگذاری شده (کروموزوم) کار می‌کند و با استفاده از عملگرهای انتخاب، تقاطع و جهش، نسل‌های متوالی را برای یافتن راه‌حل بهینه تولید می‌نماید [۶۷، ۶۸].

الگوریتم کلونی مورچگان: الگوریتم کلونی مورچگان رفتار جمعی مورچه‌ها در یافتن کوتاه‌ترین مسیر به منبع غذا را تقلید می‌کند. مورچه‌ها با حرکت خود فرومون بر جای می‌گذارند و سایر مورچه‌ها تمایل به انتخاب مسیرهای با فرومون بیشتر دارند که این سازوکار مثبت منجر به کشف راه‌حل‌های بهینه می‌شود [۶۹].

الگوریتم کلونی زنبور عسل^{۹۲}: الگوریتم کلونی زنبور عسل الگوی جستجوی غذای زنبورهای عسل را مدل می‌کند. جمعیت به زنبورهای کارگر، ناظر و پیشاهنگ تقسیم می‌شود که تعادل بین اکتشاف (جستجوی منابع جدید) و بهره‌برداری (جستجوی محلی حول منابع شناخته شده) را برقرار می‌کنند [۷۰].

الگوریتم گرگ خاکستری^{۹۳}: الگوریتم گرگ خاکستری سلسله مراتب اجتماعی و راهبرد شکار گرگ‌های خاکستری را شبیه‌سازی می‌کند. فرایند بهینه‌سازی با هدایت سه راه‌حل برتر (آلفا، بتا و دلتا) و با مراحل تعقیب، محاصره و حمله به طعمه انجام می‌پذیرد [۷۱].

جدول ۱۶: کاربردهای هوش مصنوعی و داده‌کاوی

نیازمندی‌های داده	الگوریتم / ابزار	کاربرد	حوزه	روش‌شناسی
مجموعه داده‌های ساخت‌یافته / غیرساخت‌یافته	دی.بی.اسکن ^{۸۶} ، ابریوری ^{۸۷}	تشخیص الگوی آثار	باستان‌شناسی	داده‌کاوی
پیکره‌های متنی	برت، ال.دی.ای ^{۸۸}	تحلیل شباهت اسناد	تاریخ حقوقی	پردازش زبان طبیعی
مجموعه داده‌های تصویر / ویدیو	رزنت، یولو ^{۸۹}	شناسایی گونه‌ها	زیست‌شناسی دریایی	بینایی ماشین
داده‌های حسگرهای شهری	دی.کیوان ^{۹۰} ، پی.پی. ^{۹۱}	بهینه‌سازی ترافیک	برنامه‌ریزی شهری	یادگیری تقویتی

۸ - هوش مصنوعی و الگوریتم‌های الهام‌گرفته از هوشمندی طبیعت

اگرچه تقلید از طبیعت، چه موجودات زنده و چه پدیده‌های غیرزنده، پیش از ظهور هوش مصنوعی نیز وجود داشته است، با این حال، تقلید از هوشمندی موجود در طبیعت به طور خاص به حوزه هوش مصنوعی تعلق دارد. این موضوع نه تنها در شبیه‌سازی ساختار مغز و سیستم عصبی انسان در الگوریتم‌های یادگیری ماشین نمود یافته، بلکه در مدل‌های پیشرفته‌ای مانند جی.پی.تی و مبدل‌ها نیز مشهود است. هوش مصنوعی از مدل‌های متنوعی برای تقلید از رفتارهای هوشمندانه طبیعت بهره برده است. به عنوان مثال، الگوریتم ژنتیک بر اساس اصول تکامل زیستی طراحی شده است. سایر الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت شامل الگوریتم مورچه‌ها (که از رفتار لانه‌سازی و جستجوی غذا توسط مورچه‌ها الهام گرفته)، الگوریتم زنبور عسل، الگوریتم خفاش، الگوریتم گرگ خاکستری، و الگوریتم سیستم ایمنی (که بر اساس عملکرد گلبول‌های سفید طراحی شده) می‌شوند. این الگوریتم‌ها هر کدام ویژگی‌های منحصر به فردی از طبیعت را شبیه‌سازی

86-Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN)

87-Apriori

88-Linear Discriminant Analysis (LDA)

89-You Only Look Once (YoLo)

90-Deep Q-Network

91-Proximal Policy Optimization (PPO)

92-Artificial bee colony algorithm (ABC)

93-Grey Wolf Optimization (GWO)

فرایند رقابت استعمارگران برای تسلط بر کشورهای دیگر را شبیه‌سازی می‌کند. کشورها به استعمارگر و مستعمره تقسیم می‌شوند. مستعمره‌ها به سمت استعمارگران جذب شده و امپراتوری‌ها با یکدیگر رقابت می‌کنند که در نهایت منجر به همگرایی به سمت راهحل بهینه می‌شود [۷۹].

الگوریتم رشد گیاهان: الگوریتم رشد گیاهان رفتار مهاجمی و تطبیق‌پذیری اکولوژیک علف‌های هرز را تقلید می‌کند. گیاهان (راهحل‌ها) بر اساس برازندگی خود، دانه‌های بیشتری تولید می‌کنند که در اطراف والد پخش می‌شوند. این فرآیند تدریجی منجر به پوشش کارآمد فضای جستجو و همگرایی می‌شود [۸۰].

الگوریتم شیر: الگوریتم شیر رفتار اجتماعی شیرها شامل دفاع از قلمرو، شکار و مهاجرت را مدل می‌کند. این الگوریتم با شبیه‌سازی تعامل بین گروه‌های شیرهای نر و ماده و مهاجرت شیرهای جوان، سعی در ایجاد تعادل بین جستجوی جهانی و محلی دارد [۸۱].

۹- تعامل نرم افزار، سخت افزار و هوش مصنوعی

چگونگی تأمین پیشرفت‌های مدرن هوش مصنوعی توسط سخت‌افزار، نرم‌افزار توزیع‌شده و زیرساخت داده اساساً از طریق همگرایی حیاتی سخت‌افزارهای تخصصی، اکوسیستم‌های نرم‌افزاری توزیع‌شده و زیرساخت داده‌ای مستحکم امکان‌پذیر شده است. شتاب‌دهنده‌های سخت‌افزاری مانند واحدهای پردازش گرافیک و پایه‌های محاسباتی لازم برای عملیات ماتریسی عظیم را فراهم می‌کنند و زمان آموزش مدل‌هایی مانند جی.پی.تی-۴ را از سال‌ها به هفته‌ها کاهش می‌دهند. هم‌زمان، چارچوب‌های محاسبات توزیع‌شده مانند تنسور-فلو^{۱۰۲} و پای-تورچ^{۱۰۳} و بُن‌سازهای ابری، پردازش در مقیاس بزرگ را همگانی می‌سازند، در حالی که سیستم‌های داده مدرن، مجموعه‌داده‌های موردنیاز برای آموزش در مقیاس اگزابایت را مدیریت می‌کنند. این عوامل

الگوریتم خفاش:^{۹۴} الگوریتم خفاش از قابلیت انعکاس مکان‌یابی صوتی (پژواک یابی^{۹۵}) خفاش‌ها الهام گرفته است. خفاش‌ها با تولید پالس‌های صوتی و تحلیل پژواک آن، موقعیت خود را در فضای جستجو به روز می‌کنند و با تنظیم فرکانس و بلندی صدا، بین اکتشاف و بهره‌برداری تعادل ایجاد می‌کنند [۷۲، ۷۳، ۷۴].

الگوریتم پروانه:^{۹۶} الگوریتم پروانه رفتار جفت‌یابی و ناوبری پروانه‌ها از طریق حس بویایی را تقلید می‌کند. پروانه‌ها به سمت پروانه‌های دیگر که فرومون بیشتری ساطع می‌کنند (معادل راهحل‌های بهتر) حرکت می‌کنند و از یک ترکیب از جستجوی جهانی و حرکات‌های تصادفی محلی استفاده می‌نمایند [۷۵].

الگوریتم نهنگ:^{۹۷} الگوریتم نهنگ روش شکار منحصر به فرد نهنگ‌های گوژپشت به نام حمله حباب‌نت را شبیه‌سازی می‌کند. این الگوریتم سه فاز دارد: محاصره طعمه، حرکت مارپیچی به سمت طعمه و جستجوی تصادفی برای طعمه جدید که آن را به یک الگوریتم قوی با تعادل خوب تبدیل کرده است [۷۶].

الگوریتم کرم شب‌تاب:^{۹۸} الگوریتم کرم شب‌تاب بر اساس رفتار درخشندگی و جذب متقابل کرم‌های شب‌تاب کار می‌کند. در این الگوریتم، کرم‌های شب‌تاب با درخشندگی کمتر به سمت کرم‌های با درخشندگی بیشتر (راهحل‌های بهتر) جذب می‌شوند و یک جزء تصادفی از حرکت نیز برای پوشش بهتر فضای جستجو وجود دارد [۷۷].

الگوریتم ازدحام ذرات: الگوریتم ازدحام ذرات رفتار جمعی پرندگان در پرواز دسته‌جمعی را مدل می‌کند. هر ذره در جامعه، موقعیت خود را بر اساس بهترین تجربه شخصی خود و بهترین موقعیت کشف شده توسط کل دسته به‌روز می‌کند تا به تدریج به سمت بهینه همگرا شود [۷۸].

الگوریتم رقابت استعمار:^{۹۹} الگوریتم رقابت استعمار

100-IWO
101-Lion Optimization Algorithm
102-Tensorflow
103-PyTorch

94-BAT Algorithm (BA)
95-Echolocation
96-Butterfly Optimization Algorithm (BOA)
97-Whale Optimization Algorithm (WOA)
98-Firefly algorithm (FA)
99-Imperialist competitive algorithm (ICA)

جدول ۱۸: تأثیر متقابل هوش مصنوعی بر سخت‌افزار، نرم‌افزار و داده

حوزه	تأثیر بر پیشرفت هوش مصنوعی	مؤلفه‌های کلیدی	نمونه‌های کاربردی
سخت‌افزار	افزایش ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابری سرعت آموزش شبکه‌های عصبی	خوشه‌های واحد پردازش گرافیکی / واحد پردازش تنسور، اتصالات ان-وی-لینک	آموزش چت جی.بی.تی توسط انودیا دی.جی.ایکس، سوپرپاد
نرم‌افزار	استقرار مقیاس‌پذیر در بیش از ۱۰,۰۰۰ گره	تنسور-فلو، کوپرنیتیز توسعه یافته	آموزش برت گوگل روی خوشه‌های واحد پردازش تنسور ۱۰۵
زیرساخت داده	پردازش بی‌درنگ داده‌های بدون ساختار در مقیاس پتابایت	پایگاه داده‌های برداری، هادوپ-اسپارک	جستجوگرها در پایگاه داده برداری مانند میلوس ۱۰۶

۱۰- الگوهای حل مسئله در هوش مصنوعی

هوش مصنوعی شامل روش‌های متنوعی است که هر یک برای الگوهای حل مسئله خاصی طراحی شده‌اند. این رویکردها به سیستم‌های قاعده‌محور، یادگیری آماری و بهینه‌سازی الهام‌گرفته از زیست‌شناسی طبقه‌بندی می‌شوند و کاربردهایی در حوزه‌هایی مانند سلامت، امور مالی، رباتیک و فراتر از آن دارند. در ادامه، طبقه‌بندی سیستماتیک بُن‌انگاره‌های کلیدی هوش مصنوعی، فرایندهای عملیاتی آن‌ها، کاربردهای دنیای واقعی و الگوریتم‌های شاخص ارائه شده است. در عمل الگوها می‌توانند به صورت ترکیبی استفاده شوند. جدول (۱۹) الگوهای مبتنی بر یادگیری را نشان می‌دهد. الگوهای مبتنی بر منطق در جدول (۲۰) نمایش داده شده است. همچنین الگوی مبتنی بر الهام از طبیعت در جدول (۲۱) خلاصه شده است. در جدول (۲۲) الگوی ترکیبی دسته‌بندی شده است.

۱۱- کاربردهای هوش مصنوعی

هوش مصنوعی با انعطاف‌پذیری قابل توجهی در حوزه‌های متنوعی کاربرد دارد که در شش دسته‌بندی اصلی قابل مشاهده است. این دسته‌بندی‌ها شامل تحلیل

ذکر شده، الگوریتم‌های نظری را به کاربردهای عملی تبدیل می‌کند- از ترجمه زنده زبان تا سیستم‌های خودمختار- که قابلیت‌های هوش مصنوعی مدرن را تعریف می‌کنند [۸۲-۸۴]. جدول (۱۸) تأثیرات متقابل سخت‌افزار-نرم‌افزار سیستم‌های توزیع شده بر هوش مصنوعی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۷: مقایسه‌ای ترکیبی الگوریتم بهینه‌سازی

نام الگوریتم	رویکرد حل مساله	کاربردهای شاخص	پیچیدگی و تعداد پارامترها
الگوریتم ژنتیک	رویکرد تکاملی با استفاده از انتخاب، تقاطع و جهش	بهینه‌سازی ترکیباتی، زمان‌بندی، طراحی تنظیم متوسط	پارامترهای متوسط (نرخ تقاطع / جهش)، تنظیم متوسط
الگوریتم مورچگان	رویکرد سازنده احتمالی با قوانین فرومون	مسیریابی (TSP)، تخصیص منابع، خوشه‌بندی	پارامترهای متوسط (تخیر فرومون)، تنظیم متوسط
الگوریتم زنبور عسل	جستجوی با تقسیم نقش (کارگر، ناظر، پیشاهنگ)	بهینه‌سازی توابع، داده‌کاوی، یادگیری ماشین	پارامترهای کم، تنظیم آسان
الگوریتم گرگ خاکستری	شبه جمعیتی؛ پیروی از رهبران سلسله مراتبی	بهینه‌سازی توابع، مهندسی قدرت، کنترل	پارامترهای بسیار کم، تنظیم آسان
الگوریتم خفاش	فرااکتشافی مبتنی بر اصول انعکاس صوتی	بهینه‌سازی توابع، پردازش تصویر، طراحی	پارامترهای متوسط فرکانس، میزان بلندی، تنظیم متوسط
الگوریتم پروانه	جستجوی مبتنی بر جذب حسی و حرکت تصادفی	بهینه‌سازی پارامترهای مهندسی، پیش‌بینی	پارامترهای کم، تنظیم آسان تا متوسط
الگوریتم نهنگ	شبیه‌سازی مراحل شکار نهنگ (محاصره، حباب‌نت)	بهینه‌سازی مسائل مهندسی و پزشکی	پارامترهای بسیار کم، تنظیم آسان
الگوریتم کرم شب تاب	جستجوی مبتنی بر جذب نوری و حرکت تصادفی	بهینه‌سازی چندهدفه، زمان‌بندی	پارامترهای متوسط، تنظیم متوسط
الگوریتم ازدحام ذرات	جستجوی اجتماعی براساس بهترین تجربه فردی و جمعی	آموزش شبکه عصبی، بهینه‌سازی شکل	پارامترهای کم، تنظیم آسان
الگوریتم رقابت استعماری	رویکرد جامعه‌شناسی سیاسی ۱۰۴ با رقابت امپراتوری‌ها	طراحی سیستم‌های قدرت، اقتصاد	پارامترهای متوسط، تنظیم متوسط
الگوریتم رشد گیاهان	رویکرد تکاملی-اکولوژیک با پراکندگی بذر	طراحی آنتن، کنترل بهینه، خوشه‌بندی	پارامترهای متوسط، تنظیم متوسط
الگوریتم شیر	رویکرد جستجو در جواب‌های محلی	بهینه‌سازی اقتصادی، تخصیص منابع	پارامترهای متوسط، تنظیم متوسط تا سخت

پیش‌بینانه برای پیش‌بینی روندها و رویدادها، سیستم‌های تشخیصی در حوزه‌های پزشکی و صنعتی، موتورهای پیشنهادگر برای ارائه توصیه‌های شخصی‌سازی شده، تکنیک‌های بهینه‌سازی برای حل مسائل پیچیده، ابزارهای تولید محتوا برای خلق آثار مختلف، و راهکارهای پردازش زبان طبیعی برای درک و پردازش زبان انسان می‌شود. این طبقه‌بندی جامع، طیف گسترده‌ای از قابلیت‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی در زمینه‌های مختلف را پوشش می‌دهد. هر دسته شامل مثال‌های عینی است که توسط پژوهش‌های دانشگاهی پشتیبانی می‌شود و نشان می‌دهد هوش مصنوعی چگونه صنایع مختلف (از بهداشت و درمان تا مالی) را با فناوری‌هایی مانند شبکه‌های عصبی بازگشتی^{۱۱۶} برای پیش‌بینی همه‌گیری‌ها، تحلیل تصاویر پزشکی مبتنی بر شبکه عصبی هم‌آمیختی و مدل‌های مبدل برای وظایف زبانی متحول می‌کند.

ماشین در حوزه‌های گوناگون به کار گرفته شده است. در مطالعه [۸۵] از مدل شبکه عصبی بازگشتی برای پیش‌بینی گسترش بیماری کووید-۱۹ استفاده شده است. مقاله [۸۶] شبکه‌های عصبی گرافی^{۱۱۷} را برای پیش‌بینی پاسخ به داروهای سرطان به کار گرفته، در حالی که پژوهش [۸۷] از الگوریتم ایکس-بوست^{۱۱۸} برای پیش‌بینی قیمت سهام بهره برده است. همچنین در تحقیق [۸۸] از شبکه‌های عصبی هم‌آمیختی برای پیش‌بینی زلزله استفاده شده است. در مطالعه [۸۹] نیز از مدل پروفت^{۱۱۹} برای پیش‌بینی الگوهای مصرف انرژی استفاده شده است که نشان‌دهنده قابلیت‌های این مدل در تحلیل سری‌های زمانی و پیش‌بینی دقیق شاخص‌های انرژی می‌باشد. این پژوهش به همراه سایر کاربردهای ذکر شده، گواهی بر اهمیت و اثربخشی تحلیل‌های پیش‌بینانه در حوزه‌های مختلف از پزشکی و مالی تا مدیریت منابع و بلایای طبیعی است.

جدول ۱۹: انواع یادگیری

فرآیند	کاربردها	الگوریتم‌ها	رویکرد
آموزش با داده‌های برچسب‌خورده	تشخیص اسپم، امتیازدهی اعتباری	ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی، برت	یادگیری نظارت شده
کشف الگو در داده‌های بدون برچسب	تقسیم‌بندی مشتریان، تشخیص ناهنجاری	کا-میانگین ^{۱۰۷} ، پی‌سی‌آ ^{۱۰۸} ، شبکه‌های هم‌آموردهی مولد ^{۱۰۹}	یادگیری بدون نظارت
یادگیری آزمون و خطای مبتنی بر پاداش	هوش مصنوعی بازی، کنترل روباتیک	کیو-لرنینگ، شبکه‌های یادگیری عمیق	یادگیری تقویتی

جدول ۲۰: سیستم‌های خبره و برنامه‌نویسی منطقی

فرآیند	رویکرد	الگوریتم/ابزار	کاربردها
قواعد اگر-آنگاه + پایگاه دانش	سیستم‌های خبره	پرولوگ ^{۱۱۰} و کلیس ^{۱۱۱}	تشخیص پزشکی، تشخیص خطا
استدلال صوری با محمولات	برنامه‌نویسی منطقی	دیتا-لاگ ^{۱۱۲} ، برنامه‌نویسی مجموعه پاسخ	استدلال حقوقی، اثبات قضیه

جدول ۲۱: روش‌های الهام‌گرفته از زیست‌شناسی

الگوریتم‌ها	کاربردها	فرآیند	رویکرد
برنامه ریزی ژنتیک، الگوریتم ژنتیک چند هدفه ^{۱۱۳}	طراحی هوافضا، لجستیک	تکامل شبیه‌سازی شده (انتخاب/جهش)	الگوریتم‌های ژنتیک
مبدل، آر.ان.ن، سی.ان.ان	تشخیص تصویر، پردازش زبان طبیعی	تقلید تعاملات نورو-های بیولوژیکی	شبکه‌های عصبی

جدول ۲۲: هوش مصنوعی ترکیبی و مدرن

فناوری‌ها	کاربردها	فرآیند	رویکرد
دیپ-پرولوگ ^{۱۱۴} ، ال.تی.ان ^{۱۱۵}	هوش مصنوعی تبیین‌پذیر، رباتیک	ترکیب منطق + شبکه عصبی	هوش مصنوعی عصبی-نمادین
دال-ای	تولید هنری، کشف دارو	تولید محتوای داده‌محور	هوش مصنوعی مولد

۱۱-۱- تحلیل پیش‌بینانه

تحلیل پیش‌بینانه با استفاده از مدل‌های مختلف یادگیری

107-K-Means
108-PCA
109-Generative Adversarial Networks (GANs)
110-Prolog
111-CLIPS
112-Datalog
113-Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)
114-DeepProLog
115-LTN

116-Long short-term memory(LSTM)

117-Graph neural networks (GNN)

118-Extreme Gradient Boosting

119-Prophet

۲-۱۱- کاربردهای تشخیصی هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلف

هوش مصنوعی با استفاده از مدل‌های پیشرفته یادگیری عمیق و ماشین، تحول چشمگیری در حوزه‌های تشخیصی ایجاد کرده است. در مطالعات مختلف، مدل‌های گوناگونی برای تشخیص بیماری‌ها و مشکلات به کار گرفته شده‌اند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مدل رزنت-۵۰ در تشخیص تومورهای مغزی [۹۰]، اینسپشن-وی^{۱۲۰} در شناسایی رتینوپاتی دیابتی [۹۱]، و شبکه‌های عصبی هم‌آمیختی در تشخیص آسیب‌شناسی سرطان [۹۲] عملکرد قابل توجهی داشته‌اند. همچنین از مدل شبکه موبایل^{۱۲۱} برای تشخیص بیماری‌های گیاهان [۹۴] و از خودرمزگذار^{۱۲۲} برای شناسایی عیوب تولیدی در صنعت [۹۳] استفاده شده است. در حوزه پزشکی، الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان نیز برای تحلیل گفتار بیماران پارکینسون به کار رفته است [۹۵]. این کاربردهای متنوع نشان‌دهنده توانایی بالای هوش مصنوعی در ارائه راهکارهای تشخیصی دقیق و کارآمد در حوزه‌های مختلف است.

۳-۱۱- سیستم‌های پیشنهادگر هوش مصنوعی و کاربردهای آنها

سیستم‌های پیشنهادگر با استفاده از مدل‌های مختلف هوش مصنوعی، تجربه کاربران را در حوزه‌های گوناگون شخصی‌سازی می‌کنند. در پژوهش‌های مختلف، از مدل‌های متنوعی برای ارائه پیشنهادها هدفمند استفاده شده است. به عنوان مثال، تجزیه مقدار منفرد^{۱۲۳} برای پیشنهاد فیلم [۹۶]، شبکه‌های عصبی عمیق برای توصیه محصولات در تجارت الکترونیکی [۹۷]، و مدل برت برای پیشنهاد مقالات علمی [۹۸] به کار گرفته شده‌اند. همچنین، رگرسیون لجستیک در شخصی‌سازی تبلیغات [۹۹] و فاکتورگیری ماتریسی در پیشنهاد دوره‌های آموزشی [۱۰۰] مورد

استفاده قرار گرفته است. این سیستم‌ها با تحلیل رفتار و ترجیحات کاربران، پیشنهادها مرتبط و هوشمندانه‌ای ارائه می‌دهند که منجر به بهبود تجربه کاربری و افزایش رضایت می‌شود.

۱۱-۴- کاربردهای هوش مصنوعی در بهینه‌سازی سیستم‌های مختلف

هوش مصنوعی با ارائه راهکارهای نوین، تحول چشمگیری در حوزه بهینه‌سازی ایجاد کرده است. مطالعات نشان می‌دهد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی زنجیره تأمین [۱۰۱] و یادگیری تقویتی در مسیریابی خودروها [۱۰۲] به کار گرفته شده‌اند. از سوی دیگر، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای زمان‌بندی تولید [۱۰۳] و نظریه مدرن پرتفوی^{۱۲۴} برای بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری [۱۰۴] مورد استفاده قرار گرفته است. جالب توجه این که، سیستم آلفاگو^{۱۲۵} توانسته در کاهش مصرف سوخت [۱۰۵] و شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدیریت انرژی ساختمان‌ها [۱۰۶] عملکرد قابل توجهی از خود نشان دهند. این کاربردهای متنوع نشان می‌دهد چگونه تکنیک‌های هوش مصنوعی می‌توانند در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی در حوزه‌های مختلف صنعت و مدیریت مؤثر واقع شوند.

۱۱-۵- کاربردهای هوش مصنوعی در تولید محتوا

هوش مصنوعی با استفاده از مدل‌های پیشرفته، تحول شگرفی در حوزه تولید محتوا ایجاد کرده است. شبکه‌های هم‌آوردی مولد در سنتز تصاویر پزشکی [۱۰۷]، مدل جی. پی. تی-۳ در تولید متن علمی [۱۰۸] و معماری مبدل در آهنگسازی [۱۰۹] به کار گرفته شده‌اند. همچنین مدل وی. کیو-وی. آی. آی^{۱۲۶} در ترکیب ویدیو [۱۱۰]، شبکه‌های عصبی هم‌آمیختی در طراحی محصول [۱۱۱] و سیستم کدکس^{۱۲۷}

124-MPT

125-AlphaGo Algorithm

126-VQ-VAE

127-Codex

120-Inception-v3

121-MobileNet

122-Autoencoder

123-Singular value decomposition (SVD)

۱۲- ابزارهای برنامه نویسی در هوش مصنوعی

بوم-سامانه هوش مصنوعی پایتون از ابزارهای تخصصی مانند تنسور-فلو و پای-تورچ به عنوان چارچوب‌های اساسی برای ساخت و آموزش شبکه‌های عصبی استفاده می‌کند. از نمونه‌های اولیه آزمایشی تا مدل‌های یادگیری عمیق در مقیاس تولید. این ابزارها با کتابخانه اوپن.ای.آی تکمیل می‌شوند که دسترسی ساده‌ای به ای.پی.آی مدل‌های پیشرفته زبانی مانند جی.پی.تی برای وظایف پردازش زبان طبیعی فراهم می‌کند.

لنگ-چین^{۱۳۱} به عنوان یک جعبه ابزار سطح بالاتر، این اجزا را هماهنگ می‌کند و به توسعه‌دهندگان امکان می‌دهد مدل‌های زبانی را با منابع داده خارجی، سیستم‌های حافظه و گردش‌های کاری منطقی ادغام کنند، که این امر ایجاد برنامه‌های هوش مصنوعی پیچیده و آگاه از زمینه را ساده می‌سازد [۱۱۸، ۱۱۹].

این ابزارها با هم یک پشته لایه‌ای تشکیل می‌دهند:

- پای-تورچ / تنسور-فلو محاسبات سطح پایین را مدیریت می‌کنند [۱۲۰].
- اوپن.ای.آی دسترسی به مدل‌های از پیش آموزش دیده را فراهم می‌کند.
- لنگ-چین طراحی برنامه‌های کاربردی پیمانه‌ای را امکان‌پذیر می‌سازد.

این مجموعه به صورت جمعی توسعه هوش مصنوعی را در محیط‌های تحقیقاتی و عملیاتی تسریع می‌بخشد [۱۲۱]

۱۳- چالش‌های کلیدی آینده هوش مصنوعی: از اخلاق تا اقتصاد

رشد سریع هوش مصنوعی با مجموعه‌ای از چالش‌های پیچیده همراه است که نیازمند توجه فوری جامعه جهانی هستند. در صدر این چالش‌ها، مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده‌ها قرار دارد.

در تولید کد [۱۱۲] کاربرد داشته‌اند. این فناوری‌ها با توانایی خلق محتوای متنوع و با کیفیت، مرزهای خلاقیت را در حوزه‌های مختلف گسترش داده‌اند و نشان‌دهنده پتانسیل بالای هوش مصنوعی در تولید انواع محتوا هستند.

۱۱-۶- پردازش زبان طبیعی و تحولات نوین در تعامل انسان و ماشین

هوش مصنوعی با بهره‌گیری از مدل‌های پیشرفته پردازش زبان طبیعی، انقلابی در حوزه ارتباطات و تعاملات زبانی ایجاد کرده است. مدل مولد با قابلیت‌های منحصر به فرد خود، دقت ترجمه ماشینی را به سطح بی‌سابقه‌ای رسانده است [۱۱۳]. از سوی دیگر، معماری برت با درک عمیق از متن، امکان تحلیل دقیق احساسات و نیت موجود در محتوای متنی را فراهم آورده [۱۱۴]. در حوزه سلامت، روبات‌های گپ‌زنی مبتنی بر چارچوب راسا^{۱۳۸} به ارائه مشاوره پزشکی اولیه پرداخته‌اند [۱۱۵].

کاربردهای تخصصی‌تر این فناوری شامل خلاصه‌سازی پیشرفته اسناد حقوقی با استفاده از مدل لانگ-فورمر^{۱۲۹} و نیز تشخیص گفتار پزشکی با سیستم دیپ-اسپیچ^{۱۳۰} می‌شود [۱۱۶، ۱۱۷]. این دستاوردها نشان‌دهنده توانایی هوش مصنوعی در درک، پردازش و تولید زبان طبیعی با دقتی مشابه انسان است. پیشرفت‌های اخیر در این حوزه نه تنها کیفیت تعامل انسان و ماشین را ارتقا داده، بلکه امکان ارائه خدمات هوشمند در حوزه‌های تخصصی مانند پزشکی و حقوق را نیز ممکن ساخته است. این تحولات گویای آن است که پردازش زبان طبیعی به یکی از مؤثرترین و کاربردی‌ترین شاخه‌های هوش مصنوعی تبدیل شده که روز به روز بر دامنه نفوذ و تأثیر آن در زندگی بشر افزوده می‌شود. از کاربردهای روزمره مانند دستیارهای صوتی تا سیستم‌های تخصصی تحلیل متون، پردازش زبان طبیعی در حال تغییر شیوه تعامل ما با فناوری است.

128-Rasa
129-Longformer
130-DeepSpeech

مانند استخدام، وام‌دهی و سیستم قضایی تقویت کند. این مشکل ریشه در داده‌های آموزشی دارد و نیازمند توسعه روش‌های جدید برای شناسایی و کاهش تبعیض در سیستم‌های هوش مصنوعی است.

تهدیدات امنیتی نیز با پیشرفت هوش مصنوعی پیچیده‌تر شده‌اند. از تولید محتوای جعلی (جعل عمیق) تا حملات سایبری پیشرفته، سوء استفاده از این فناوری می‌تواند امنیت ملی و اجتماعی را به خطر بیندازد. هم‌زمان، خود سیستم‌های هوش مصنوعی نیز در معرض حملات مخرب قرار دارند.

تأثیرات اقتصادی هوش مصنوعی بر بازار کار یکی دیگر از نگرانی‌های اصلی است. اتوماسیون مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند باعث جابه‌جایی گسترده شغلی شود و نیازمند بازآموزی میلیون‌ها کارگر در سطح جهانی است. این تحولات می‌توانند نابرابری‌های اجتماعی موجود را تشدید کنند. شفافیت و تفسیرپذیری سیستم‌های هوش مصنوعی نیز به چالشی اساسی تبدیل شده است. با پیچیده‌تر شدن مدل‌ها، درک فرایند تصمیم‌گیری آنها دشوارتر می‌شود، که این مسئله در حوزه‌های حساسی مانند پزشکی و قضایی مشکل‌آفرین است. برای مواجهه با این چالش‌ها، نیازمند همکاری بین‌المللی و توسعه چارچوب‌های نظارتی هوشمند هستیم. این امر مستلزم مشارکت همه سودبران شامل متخصصان فناوری، حقوقدانان، سیاست‌گذاران و جامعه مدنی است تا بتوان توازن بین پیشرفت فناوری و حفظ منافع عمومی ایجاد کرد. آینده هوش مصنوعی به توانایی ما در حل این چالش‌های پیچیده و چندبعدی گره خورده است

۱۴- محدودیت‌های هوش مصنوعی

اگرچه هوش مصنوعی در دهه‌های اخیر به موفقیت‌های چشمگیری دست یافته و در بسیاری از حوزه‌ها تحولی شگرف ایجاد کرده است، اما همچنان با محدودیت‌های بنیادین و حل‌نشده‌ای روبه‌رو است که آینده آن را با ابهام مواجه می‌کند.

جدول ۲۳: ابزارهای توسعه هوش مصنوعی لنگ-چین، اوپن.ای.آی، تنسور-فلو و پای-تورچ

نوع	مورد استفاده یکپارچه‌سازی	ویژگی‌های کلیدی	منابع
سرویس رابط برنامه کاربردی	عملکرد اصلی مدل‌های زبانی بزرگ برای برنامه‌های لنگ-چین	- مدل‌های جی.پی.تی - تشخیص گفتار ویسپر - تولید تصویر دال.ای - بینایی کلیپ	[۱۲۲, ۱۱۸]
چارچوب	اتصال اوپن.ای.آی به مدل‌های سفارشی	- هماهنگی مدل‌های زبانی بزرگ - مدیریت حافظه - سیستم‌های عامل	[۱۲۳, ۱۲۴]
چارچوب یادگیری ماشین	آموزش مدل‌های سفارشی برای خطوط لوله لنگ-چین	- گراف‌های محاسباتی ایستا - استقرار آماده تولید	[۱۲۵, ۱۲۶]
چارچوب یادگیری ماشین	توسعه مدل‌های آزمایشی	- گراف‌های محاسباتی پویا - مناسب برای پژوهش	[۱۲۷]

سیستم‌های هوش مصنوعی مدرن با تغذیه از حجم عظیمی از داده‌های شخصی، نگرانی‌های جدی درباره حفاظت از اطلاعات کاربران ایجاد کرده‌اند. این مسئله به ویژه در حوزه‌های حساسی مانند خدمات مالی، مراقبت‌های بهداشتی و سیستم‌های امنیتی اهمیت مضاعفی پیدا می‌کند. چالش‌های حقوقی و مسئولیت‌پذیری نیز به یکی از مباحث داغ تبدیل شده است. با ظهور سیستم‌های خودمختار، سوالات بی‌پاسخ زیادی درباره مسئولیت تصمیم‌گیری‌های الگوریتمی مطرح می‌شود. وقتی یک خودروی بدون راننده تصادف می‌کند یا یک سیستم تشخیص چهره به اشتباه فردی را متهم می‌کند، پاسخگویی قانونی به چه شکلی باید باشد؟ این ابهامات نیازمند بازنگری اساسی در قوانین سنتی است. مالکیت فکری در عصر هوش مصنوعی نیز به موضوعی چالش‌برانگیز تبدیل شده است. وقتی یک الگوریتم اثری هنری خلق می‌کند یا اختراعی را توسعه می‌دهد، تعیین مالک این آثار نیازمند چارچوب‌های حقوقی جدیدی است. همچنین، استفاده از محتوای دارای حق تکثیر برای آموزش مدل‌ها، سوالات پیچیده‌ای درباره حقوق تولیدکنندگان محتوا ایجاد کرده است.

سوگیری الگوریتمی یکی دیگر از چالش‌های عمده است که می‌تواند تبعیض سیستماتیک را در حوزه‌های حساسی

۱۵- مسیرهای تحقیقاتی و مسائل باز در هوش مصنوعی

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه هوش مصنوعی، به‌ویژه با ظهور معماری‌های پیشرفته‌ای مانند مبدل، هنوز مسیرهای تحقیقاتی گسترده و مسائل حل نشده متعددی، جامعه علمی را با چالش‌های اساسی مواجه ساخته است. یکی از بنیادی‌ترین این چالش‌ها، توسعه سیستم‌های هوش مصنوعی قابل تفسیر و شفاف است. اگرچه مدل‌های مبتنی بر یادگیری عمیق به سطح بی‌سابقه‌ای از دقت دست یافته‌اند، اما فرآیندهای تصمیم‌گیری درونی آن‌ها عمدتاً به صورت «جعبه سیاه» باقی مانده است. مسئله دیگر این است که این مدل‌ها عمدتاً بر دانش‌های قبلی متکی هستند و توانایی محدودی در خلق راهکارهای نوآورانه دارند. هر یک از این دو کاستی، نتایج زیانباری به همراه دارند. از یک سو، عدم شفافیت به‌ویژه در حوزه‌های حساسی مانند پزشکی، نظامی و قضایی، مانعی جدی در راه اعتماد و مسئولیت‌پذیری محسوب می‌شود. از سوی دیگر، متکی بودن صرف به دانش‌های قبلی، مانع از رشد و بروز خلاقیت در سیستم‌های هوش مصنوعی خواهد شد. از این رو، ایجاد روش‌های نوین برای تفسیرپذیری و تقویت توانایی استدلال در مدل‌های پیچیده، به مسیری حیاتی در پژوهش‌های آینده تبدیل شده است.

مسئله اساسی دیگر، توسعه سیستم‌هایی با قابلیت یادگیری مستمر و انعطاف‌پذیر مشابه یادگیری انسانی است. به جرئت می‌توان ادعا کرد که ابعاد مختلف یادگیری در انسان هنوز به طور کامل شناخته شده نیست. بسیاری از مدل‌های کنونی از پدیده «فراموشی فاجعه‌بار» رنج می‌برند و با یادگیری وظایف جدید، دانش کسب شده از تجربیات گذشته را از دست می‌دهند. غلبه بر این چالش و خلق مدل‌هایی که بتوانند به طور پیوسته و بدون نیاز به آموزش مجدد، دانش خود را به‌روز کنند، از مرزهای پیش‌رو در تحقیقات هوش مصنوعی به شمار می‌رود. چنین قابلیت‌های پیش‌نیاز ضروری برای به‌کارگیری سیستم‌های

این محدودیت‌ها عمدتاً به فعالیت‌های پیچیده شناختی و تجربیاتی مربوط می‌شوند که قابل مدل‌سازی عملیاتی، کمی‌سازی و تبدیل به الگوریتم نیستند. هوش مصنوعی در پردازش داده‌های عظیم و یافتن الگو در آنها بی‌نظیر است، اما فاقد «درک» واقعی از جهان است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تفکر انتزاعی و استدلال عمیق: هوش مصنوعی در درک مفاهیم انتزاعی، استدلال بر اساس زمینه و فهم علت و معلول‌های پیچیده به شکلی که انسان انجام می‌دهد، ناتوان است. سیستم‌های هوش مصنوعی معمولاً فاقد «عقل سلیم» هستند.

- خلاقیت و نوآوری اصیل: اگرچه هوش مصنوعی می‌تواند بر اساس داده‌های موجود آثار جدیدی (مثل نقاشی یا موسیقی) خلق کند، اما این کار را از طریق تقلید و ترکیب الگوهای آموخته شده انجام می‌دهد و فاقد الهام، احساسات شخصی و قصد و نیت برای خلق یک اثر هنری است.

- هوش هیجانی: هوش هیجانی درک ظرافت‌های احساسی، همدلی واقعی، تشخیص طعنه و کنایه در گفتگو و مدیریت تعاملات اجتماعی پیچیده از حوزه‌هایی است که هوش مصنوعی در آنها بسیار ضعیف عمل می‌کند.

- ادراک حسی و تجربه ذهنی: هوش مصنوعی قادر به درک و تجربه ذهنی طعم غذا، بو، درد، لذت یا زیبایی نیست. یک سیستم می‌تواند میلیون‌ها تصویر از گل رز را تحلیل کند و آن را شناسایی کند، اما هرگز بوی خوش آن را «احساس» نخواهد کرد. این شکاف بین «پردازش اطلاعات» و «تجربه آگاهانه» یکی از بزرگ‌ترین معماهای فلسفی در مسیر توسعه هوش مصنوعی است.

- انطباق‌پذیری و یادگیری با داده‌های محدود: هوش مصنوعی‌های امروزی برای یادگیری به حجم عظیمی از داده نیاز دارند، در حالی که انسان می‌تواند تنها با یک یا چند مثال یک مفهوم جدید را بیاموزد و آن را در موقعیت‌های مختلف به کار گیرد.

تنها مرزهای فناوری را جابه‌جا خواهد کرد، بلکه درک ما از ماهیت هوش و آفرینش را دگرگون خواهد ساخت. این سفر علمی تنها از طریق تمرکز بر این مسائل باز و تعهد به توسعه هوش مصنوعی توانمند، اخلاق مدار و در خدمت بشریت ممکن خواهد بود.

۱۶- چشم‌اندازهای آینده: همه‌گیری هوش مصنوعی در تمامی عرصه‌های زندگی

همان‌گونه که تکامل تاریخی از ماشین تورینگ تا مبدل‌ها نشان می‌دهد، هوش مصنوعی از یک حوزه علمی صرف به یک فناوری تحول‌آفرین و همه‌گیر تبدیل شده است. آینده هوش مصنوعی نه در انزوا، بلکه در ادغام عمیق و نامحسوس آن در بافتار تمامی صنایع و جنبه‌های زندگی بشر ترسیم می‌شود. این «همه‌گیری هوش مصنوعی» بُن‌انگاره جدیدی را شکل خواهد داد که در آن، هوش مصنوعی به یک زیرساخت حیاتی و ضروری، مشابه برق یا اینترنت، بدل می‌شود.

در بخش صنعت و اقتصاد، کارخانه‌های «هوشمند» با محوریت هوش مصنوعی به بهره‌وری و انعطاف‌پذیری بی‌سابقه‌ای دست خواهند یافت. سیستم‌های مبتنی بر بینایی ماشین، کنترل کیفیت را خودکار کرده و پیش‌بینی خرابی تجهیزات از توقف خط تولید جلوگیری می‌کند. در عین حال، هوش مصنوعی با شبیه‌سازی مدل‌های اقتصادی-اجتماعی پیچیده، به سیاست‌گذاران در اتخاذ تصمیمات بهتر کمک کرده و ظهور «اقتصاد الگوریتمی» را تسریع خواهد نمود. در حمل‌ونقل و شهرسازی، فراتر از خودروهای خودران، هوش مصنوعی با بهینه‌سازی زنده ترافیک و مدیریت یکپارچه سیستم‌ها، شهری روان‌تر و امن‌تر خواهد ساخت و مدیریت «شهرهای هوشمند» را ممکن می‌کند.

در حوزه پزشکی و سلامت، شاهد ظهور عصر پزشکی «شخصی‌شده» خواهیم بود. مدل‌های پیشرفته قادر خواهند بود با تحلیل پرونده‌های پزشکی، داده‌های ژنومی

هوش مصنوعی در محیط‌های پویا و غیرقابل پیش‌بینی دنیای واقعی خواهد بود.

در بعد اخلاقی و اجتماعی، مسائل حل‌نشده بسیاری وجود دارد که نیازمند همکاری بین‌رشته‌ای میان علوم کامپیوتر، فلسفه، حقوق و علوم اجتماعی است. پرسش بنیادی این است که چگونه می‌توان سیستم‌های هوش مصنوعی را به گونه‌ای طراحی کرد که از داده‌های عاری از سوگیری استفاده کنند و به شکلی عادلانه برای تمامی سودبران عمل نمایند. مدل‌های بزرگ زبانی که بر پایه داده‌های عظیم اینترنتی آموزش می‌بینند، نه تنها بازتاب‌دهنده سوگیری‌های موجود در جامعه هستند، بلکه در موارد متعددی به تقویت این سوگیری‌ها می‌پردازند. بنابراین، توسعه چارچوب‌های جامع برای سنجش، کاهش و نظارت بر این سوگیری‌ها، همراه با ایجاد استانداردهای حاکمیتی برای به‌کارگیری مسئولانه هوش مصنوعی، به حوزه‌ای فوری و ضروری در پژوهش‌های کنونی تبدیل شده است.

افزون بر این، تلفیق هوش مصنوعی با دیگر فناوری‌های پیشرفته مانند محاسبات کوانتومی، مسیر تحقیقاتی امیدبخشی است که می‌تواند به حل مسائل محاسباتی پیچیده، از جمله شبیه‌سازی مولکولی برای کشف داروهای جدید بینجامد. با این حال، چگونگی بهره‌برداری بهینه از این هم‌افزایی و همچنین تضمین امنیت سایبری سیستم‌های هوش مصنوعی در برابر حملات مخرب، از چالش‌های پیش‌روی پژوهشگران این عرصه است. در نهایت، حرکت به سمت هوش مصنوعی عمومی که توانایی انجام طیف وسیعی از وظایف شناختی در سطح انسانی یا فراتر از آن را داشته باشد، به عنوان هدفی بلندمدت، مستلزم کشف بُن‌انگاره‌های جدیدی فراتر از معماری‌های کنونی است.

در این میان، رویکردی ژرف‌تر به هوش مصنوعی که بر پایه استدلال، خلاقیت و حتی ابعاد ناشناخته شناختی مشابه انسان عمل کند، می‌تواند به خلق رایانه‌ها و الگوریتم‌های خلاقانه‌تری بینجامد. چنین دستاوردی نه

و سیاسی، هوش مصنوعی یک چاقوی دولبه است که هم خطر ایجاد اطلاعات غلط را افزایش می‌دهد و هم می‌تواند با زدودن موانع زبانی، ارتباطات جهانی را تسهیل کند.

این تحول حتی مقابله با تغییرات اقلیمی، اکتشافات فضایی و نظام آموزشی را نیز در بر می‌گیرد. هوش مصنوعی در مدل‌سازی آب‌وهوا، کنترل کاوشگرهای فضایی و خلق محیط‌های آموزشی شخصی‌شده نقش محوری ایفا خواهد کرد. در نتیجه، همه‌گیری هوش مصنوعی یک گذار فناورانه اجتناب‌ناپذیر است. اگرچه این تحول با چالش‌های اخلاقی و اجتماعی عمیقی همراه است، اما پتانسیل عظیمی برای حل پیچیده‌ترین مسائل بشر و ارتقای کیفیت زندگی در سراسر جهان دارد. آینده از آن جوامعی است که بتوانند نه تنها در توسعه این فناوری، بلکه در حکمرانی و یکپارچه‌سازی خردمندانه آن در ساختارهای خود پیشگام باشند.

۱۷- نتیجه‌گیری

این مطالعه مروری جامع، مسیر تکاملی هوش مصنوعی را از مفاهیم اولیه مطرح شده توسط تورینگ تا مدل‌های مبدل پیشرفته امروزی مورد بررسی قرار داده است. یافته‌ها نشان می‌دهد هوش مصنوعی از یک رشته نظری در دهه ۱۹۵۰ به فناوری تحول‌آفرین امروزی تبدیل شده که تقریباً تمام جنبه‌های زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است. این تحول در سه مرحله اصلی رخ داده است: شکل‌گیری مبانی نظری، ظهور یادگیری عمیق و انقلاب هوش مصنوعی مولد که هر کدام دستاوردهای منحصر به فردی داشته‌اند. موفقیت‌های چشمگیر هوش مصنوعی مرهون سه پیشرفت اساسی بوده است: افزایش توان محاسباتی به ویژه با ظهور پردازنده‌های گرافیکی پیشرفته، توسعه معماری‌های نوین الگوریتمی مانند مبدل‌ها، و دسترسی به حجم عظیمی از داده‌های آموزشی. این عوامل در کنار هم امکان خلق سیستم‌هایی با قابلیت‌های شناختی نزدیک به انسان را فراهم کرده‌اند. با این حال، چالش‌های

و تصاویر پزشکی، طرح‌های درمانی منحصربه‌فرد برای هر بیمار ارائه دهند. این تحول همراه با پیش‌بینی شیوع بیماری‌ها، کشف داروهای جدید با سرعت بی‌سابقه و انجام جراحی‌های پیچیده توسط روبات‌های خودکار، سلامت بشر را متحول خواهد کرد. در عرصه کشاورزی، هوش مصنوعی پایه‌های «کشاورزی دقیق» را تقویت کرده و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و حسگرها، مدیریت منابعی مانند آب و کود را بهینه می‌کند که منجر به افزایش برداشت و پایداری محیطی می‌شود.

در حوزه نظامی، هوش مصنوعی در حال دگرگونی کامل راهبردهای دفاعی و امنیتی است. سیستم‌های خودکار شناسایی تهدیدات، پهپادهای خودمختار، و شبیه‌سازی میدان نبرد از جمله کاربردهای تحول‌آفرین این فناوری محسوب می‌شوند. این تحولات هم‌زمان فرصت‌های بی‌سابقه‌ای برای توسعه کشورها از طریق افزایش توان دفاعی و امنیت سایبری فراهم می‌آورد. در عرصه داد و ستد و تجارت، هوش مصنوعی با بهینه‌سازی زنجیره تأمین، پیش‌بینی نوسانات بازار و شخصی‌سازی خدمات مالی، بنیادهای اقتصاد جهانی را متحول ساخته است.

در حوزه فرهنگ و آموزش، شاهد جابه‌جایی فرهنگی عمیقی هستیم که مرزهای خلاقیت را درنور دیده است. دانشگاه‌ها و مراکز علمی در حال بازتعریف نقش خود به عنوان کانون‌های نوآوری در عصر هوش مصنوعی هستند، جایی که این فناوری هم به عنوان موضوع تحقیق و هم به عنوان ابزار پژوهش به کار گرفته می‌شود. در عرصه هنر، همکاری انسان و ماشین به یک هنجار جدید تبدیل شده و دسترسی به آفرینش آثار هنری را دموکراتیک‌تر ساخته است.

در حوزه حقوق و قضاوت، هوش مصنوعی در حال ایجاد تحول در فرایندهای دادرسی و تحلیل مستندات حقوقی است. سیستم‌های هوشمند می‌توانند با تحلیل حجم انبوهی از پرونده‌های قضایی، به قضات در اتخاذ تصمیمات دقیق‌تر کمک کنند. در حوزه ارتباطات اجتماعی

- odological issues in the quest for the thinking computer (pp. 23-65). Dordrecht: Springer Netherlands.
9. Turing, A. M. (1950). *Mind*. *Mind*, 59(236), 433-460.
 10. Weizenbaum, J. (1966). ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, 9(1), 36-45.
 11. Nilsson, N. J. (1984). Shakey the robot.
 12. Lighthill, J. (1973). Artificial intelligence: a general survey. Science Research Council. Science Research Council (SRC), Government Report.
 13. Pearl, J. (1988). Evidential reasoning under uncertainty. In *Exploring Artificial Intelligence* (pp. 381-418). Morgan Kaufmann.
 14. Crevier, D. (1993). AI: the tumultuous history of the search for artificial intelligence. Basic Books, Inc..
 15. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
 16. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.
 17. Amodei, D., Ananthanarayanan, S., Anubhai, R., Bai, J., Battenberg, E., Case, C., ... & Zhu, Z. (2016, June). Deep speech 2: End-to-end speech recognition in english and mandarin. In *International conference on machine learning* (pp. 173-182). PMLR.
 18. Covington, P., Adams, J., & Sargin, E. (2016, September). Deep neural networks for youtube recommendations. In *Proceedings of the 10th ACM conference on recommender systems* (pp. 191-198).
 19. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in neural information processing systems*, 30.
 20. Thirunavukarasu, A. J., Ting, D. S. J., Elangovan, K., Gutierrez, L., Tan, T. F., & Ting, D. S. W. (2023). Large language models in medicine. *Nature medicine*, 29(8), 1930-1940.
 21. Bommasani, R. (2021). On the opportunities and risks of foundation models. *arXiv preprint arXiv:2108.07258*.
 22. NVIDIA, N. (2023). H100 Tensor Core GPU Architecture: EXCEPTIONAL PERFORMANCE. SCALABILITY, AND SECURITY FOR THE DATA CENTER v1, 4.
 23. Bommasani, R. (2021). On the opportunities and risks of foundation models. *arXiv preprint arXiv:2108.07258*.
 24. Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1990). A Guide to the Theory of NP-Completeness. *Computers and intractability*, 37-79.
 25. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2022). *Introduction to algorithms*. MIT press.
 26. Krolak, P., Felts, W., & Marble, G. (1971). A man-machine approach toward solving the traveling salesman problem. *Communications of the ACM*, 14(5), 327-334.
 27. Salkin, H. M., & De Kluyver, C. A. (1975). The knapsack problem: a survey. *Naval Research Logistics Quarterly*, 22(1), 127-144.
 28. Kershner, R. (1939). The number of circles covering a set.

مهمی از جمله نیاز به شفافیت مدل‌ها، ملاحظات اخلاقی، مصرف انرژی بالا و خطرات سوءاستفاده همچنان نیازمند توجه جدی هستند. چشم‌انداز آینده هوش مصنوعی در سه بعد قابل تصور است. از جنبه فنی، توسعه مدل‌های کارآمدتر با نیاز محاسباتی کمتر در دستور کار قرار دارد. در بعد اجتماعی، ایجاد چارچوب‌های نظارتی مناسب برای استفاده مسئولانه از این فناوری ضروری است. از منظر علمی نیز تلفیق هوش مصنوعی با سایر رشته‌ها مانند علوم اعصاب می‌تواند به پیشرفت‌های چشمگیری منجر شود. در جمع‌بندی نهایی می‌توان گفت هوش مصنوعی امروز در آستانه تحولی بی‌سابقه قرار دارد که تمام جنبه‌های تمدن بشری را تحت تأثیر قرار خواهد داد. بهره‌برداری مناسب از این پتانسیل عظیم نیازمند همکاری همه‌جانبه پژوهشگران، سیاست‌گذاران و جامعه مدنی است تا بتوان این فناوری را در خدمت پیشرفت و رفاه بشریت به کار گرفت. آینده هوش مصنوعی نه تنها به پیشرفت‌های فنی، بلکه به درک عمیق‌تر ما از ماهیت هوش و شناخت نیز وابسته خواهد بود.

References

1. Asimov, I. (1964). The human brain, its capacity and functions.
2. Russell, S. J., & Norvig, P. (1995). Artificial intelligence: A modern approach;[the intelligent agent book] (pp. I-XX-VIII). Prentice hall.
3. Jouppi, N. P., Young, C., Patil, N., Patterson, D., Agrawal, G., Bajwa, R., ... & Yoon, D. H. (2017, June). In-datacenter performance analysis of a tensor processing unit. In *Proceedings of the 44th annual international symposium on computer architecture* (pp. 1-12).
4. Bommasani, R. (2021). On the opportunities and risks of foundation models. *arXiv preprint arXiv:2108.07258*.
5. Chen, M. (2021). Evaluating large language models trained on code. *arXiv preprint arXiv:2107.03374*.
6. McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115-133..
7. McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1990). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of mathematical biology*, 52(1), 99-115.
8. Turing, A. M. (2007). Computing machinery and intelligence. In *Parsing the Turing test: Philosophical and meth-*

45. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., ... & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in neural information processing systems*, 33, 1877-1901.
46. Liu, A., Feng, B., Xue, B., Wang, B., Wu, B., Lu, C., ... & Ruan, C. (1). others. 2024. Deepseek-v3 technical report. arXiv preprint arXiv:2412.19437.
47. Liu, A., Feng, B., Xue, B., Wang, B., Wu, B., Lu, C., ... & Piao, Y. (2024). Deepseek-v3 technical report. arXiv preprint arXiv:2412.19437.
48. Calegari, R., Ciatto, G., Denti, E., & Omicini, A. (2020). Logic-based technologies for intelligent systems: State of the art and perspectives. *Information*, 11(3), 167.
49. Davis, M., Andrews, P., Bibel, W., Robinson, A., & Siekmann, J. (2001). *The Early History of Automated. Handbook of Automated Reasoning*, 1, 1.
50. Haack, S. (1974). *Deviant logic: Some philosophical issues*. CUP Archive.
51. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
52. Rudolph, L. (2013). *Qualitative mathematics for the social sciences: Mathematical models for research on cultural dynamics*. Routledge.
53. Lukasiewicz, J. (1920). On three-valued logic. *Ruch filozoficzny*, 5(170-171).
54. Bayes, T. (1958). *Studies in the history of probability and statistics: IX. Thomas Bayes' essay towards solving a problem in the doctrine of chances*. *Biometrika*, 45(3), 296-315.
55. Robinson, J. A. (1965). A machine-oriented logic based on the resolution principle. *Journal of the ACM (JACM)*, 12(1), 23-41.
56. Shapiro, S. (1991). *Foundations without foundationalism: A case for second-order logic (Vol. 17)*. Clarendon Press.
57. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
58. Hegel, F. G. W. (2020). *Wissenschaft der logik*. BoD-Books on Demand.
59. Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 100-107.
60. Goldberg, A. V., & Harrelson, C. (2005, January). Computing the shortest path: A search meets graph theory. In *SODA (Vol. 5, pp. 156-165)*.
61. Salton, G. (1989). *Automatic text processing: The transformation, analysis, and retrieval of*. Reading: Addison-Wesley, 169.
62. Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv:1301.3781.
63. Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data mining: Concepts and. Techniques*, Waltham: Morgan Kaufmann Publishers.
64. Johnson, J., Douze, M., & Jégou, H. (2019). Billion-scale similarity search with GPUs. *IEEE Transactions on Big American Journal of mathematics*, 61(3), 665-671.
29. May, K. O. (1965). The origin of the four-color conjecture. *Isis*, 56(3), 346-348.
30. McQuillan, J. M. (1974). *Adaptive Routing Algorithms for Distributed Computer Networks (No. BBN2831)*.
31. Robbins, S. M., & Murphy, T. E. (1949). Economics of Scheduling for Industrial Mobilization. *Journal of Political Economy*, 57(1), 30-45.
32. Haessler, R. W. (1971). A heuristic programming solution to a nonlinear cutting stock problem. *Management Science*, 17(12), B-793.
33. Norman, R. Z., & Rabin, M. O. (1959). An algorithm for a minimum cover of a graph. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 10(2), 315-319.
34. Mitchell, T. M. (1997). Does machine learning really work?. *AI magazine*, 18(3), 11-11.
35. Bishop, C. M., & Nasrabadi, N. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning (Vol. 4, No. 4, p. 738)*. New York: springer.
36. Goodfellow, I. (2016). *Deep learning*.
37. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., ... & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in neural information processing systems*, 33, 1877-1901.
38. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019, June). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In *Proceedings of the 2019 conference of the North American chapter of the association for computational linguistics: human language technologies, volume 1 (long and short papers) (pp. 4171-4186)*.
39. Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., ... & Liu, P. J. (2020). Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. *Journal of machine learning research*, 21(140), 1-67.
40. Touvron, H., Martin, L., Stone, K., Albert, P., Almahairi, A., Babaei, Y., ... & Scialom, T. (2023). Llama 2: Open foundation and fine-tuned chat models. arXiv preprint arXiv:2307.09288.
41. Manning, C. D. (2022). Human language understanding & reasoning. *Daedalus*, 151(2), 127-138.
42. Jouppi, N., Kurian, G., Li, S., Ma, P., Nagarajan, R., Nai, L., ... & Patterson, D. A. (2023, June). Tpu v4: An optically reconfigurable supercomputer for machine learning with hardware support for embeddings. In *Proceedings of the 50th annual international symposium on computer architecture (pp. 1-14)*.
43. von Zitzewitz, V. L. C. (2024). *NVIDIA's Bet on Artificial Intelligence (Master's thesis, Universidade NOVA de Lisboa (Portugal))*.
44. Bringas, P. G., García, H. P., de Pisón, F. J. M., Flecha, J. R. V., Lora, A. T., de la Cal, E. A., ... & Corchado, E. (Eds.). (2022). *Hybrid Artificial Intelligent Systems: 17th International Conference, HAIS 2022, Salamanca, Spain, September 5-7, 2022, Proceedings (Vol. 13469)*. Springer Nature.

- Journal of computational design and engineering, 3(1), 24-36.
82. Jouppi, N. P., Young, C., Patil, N., Patterson, D., Agrawal, G., Bajwa, R., ... & Yoon, D. H. (2017, June). In-datacenter performance analysis of a tensor processing unit. In Proceedings of the 44th annual international symposium on computer architecture (pp. 1-12).
 83. Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., ... & Zheng, X. (2016). {TensorFlow}: a system for {Large-Scale} machine learning. In 12th USENIX symposium on operating systems design and implementation (OSDI 16) (pp. 265-283).
 84. Zaharia, M., Xin, R. S., Wendell, P., Das, T., Armbrust, M., Dave, A., ... & Stoica, I. (2016). Apache spark: a unified engine for big data processing. Communications of the ACM, 59(11), 56-65.
 85. Jia, J. S., Lu, X., Yuan, Y., Xu, G., Jia, J., & Christakis, N. A. (2020). Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China. Nature, 582(7812), 389-394.
 86. Fingerhut, L. C., Miller, D. J., Strugnell, J. M., Daly, N. L., & Cooke, I. R. (2020). ampir: an R package for fast genome-wide prediction of antimicrobial peptides. Bioinformatics, 36(21), 5262-5263.
 87. Nagel, S. (2021). Report of the Editor of "The Journal of Finance" for the Year 2020. The Journal of Finance, 1019-1028.
 88. Al Banna, M. H., Taher, K. A., Kaiser, M. S., Mahmud, M., Rahman, M. S., Hosen, A. S., & Cho, G. H. (2020). Application of artificial intelligence in predicting earthquakes: state-of-the-art and future challenges. IEEE Access, 8, 192880-192923.
 89. Zeinalnezhad, M., Chofreh, A. G., Goni, F. A., Hashemi, L. S., & Klemeš, J. J. (2021). A hybrid risk analysis model for wind farms using Coloured Petri Nets and interpretive structural modelling. Energy, 229, 120696.
 90. McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafi, H., ... & Shetty, S. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. Nature, 577(7788), 89-94.
 91. Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., ... & Webster, D. R. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. jama, 316(22), 2402-2410.
 92. Campanella, G., Hanna, M. G., Geneslaw, L., Mirafior, A., Werneck Krauss Silva, V., Busam, K. J., ... & Fuchs, T. J. (2019). Clinical-grade computational pathology using weakly supervised deep learning on whole slide images. Nature medicine, 25(8), 1301-1309.
 93. Yang, J., Li, S., Wang, Z., Dong, H., Wang, J., & Tang, S. (2020). Using deep learning to detect defects in manufacturing: a comprehensive survey and current challenges. Materials, 13(24), 5755.
 94. Martinelli, F., Scalenghe, R., Davino, S., Panno, S., Scuderi, G., Ruisi, P., ... & Dandekar, A. M. (2015). Advanced Data, 7(3), 535-547.
 65. Ramos, J. (2003, December). Using tf-idf to determine word relevance in document queries. In Proceedings of the first instructional conference on machine learning (Vol. 242, No. 1, pp. 29-48).
 66. Domingos, P. (2012). A few useful things to know about machine learning. Communications of the ACM, 55(10), 78-87.
 67. Shi, X. H., Liang, Y. C., Lee, H. P., Lu, C., & Wang, L. M. (2005). An improved GA and a novel PSO-GA-based hybrid algorithm. Information processing letters, 93(5), 255-261.
 68. Reeves, C. R., & Rowe, J. E. (2002). Genetic algorithms—principles and perspectives: a guide to GA theory. Boston, MA: Springer US.
 69. Stützle, T., & Dorigo, M. (1999). ACO algorithms for the traveling salesman problem. Evolutionary algorithms in engineering and computer science, 4, 163-183.
 70. Teodorović, D. (2009). Bee colony optimization (BCO). In Innovations in swarm intelligence (pp. 39-60). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
 71. Negi, G., Kumar, A., Pant, S., & Ram, M. (2021). GWO: a review and applications. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 12(1), 1-8.
 72. Yang, X. S., & He, X. (2013). Bat algorithm: literature review and applications. International Journal of Bio-inspired computation, 5(3), 141-149.
 73. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Yang, X. S. (2014). Binary bat algorithm. Neural Computing and Applications, 25(3), 663-681.
 74. Kaveh, A., & Farhoudi, N. (2013). A new optimization method: Dolphin echolocation. Advances in Engineering Software, 59, 53-70.
 75. Salem, S. A. (2012, October). BOA: A novel optimization algorithm. In 2012 international conference on engineering and technology (ICET) (pp. 1-5). IEEE.
 76. Nasiri, J., & Kheyabani, F. M. (2018). A whale optimization algorithm (WOA) approach for clustering. Cogent Mathematics & Statistics, 5(1), 1483565.
 77. Hassanzadeh, T., & Kanan, H. R. (2014). Fuzzy FA: a modified firefly algorithm. Applied Artificial Intelligence, 28(1), 47-65.
 78. Zomaya, A. Y. (Ed.). (2006). Handbook of nature-inspired and innovative computing: integrating classical models with emerging technologies. Springer Science & Business Media.
 79. Kachenoura, A., Albera, L., Senhadji, L., & Comon, P. (2008). ICA: a potential tool for BCI systems. IEEE Signal Processing Magazine, 25(1), 57-68.
 80. Bai, Y. Y., Xiao, S., Liu, C., & Wang, B. Z. (2012). A hybrid IWO/PSO algorithm for pattern synthesis of conformal phased arrays. IEEE Transactions on antennas and Propagation, 61(4), 2328-2332.
 81. Yazdani, M., & Jolai, F. (2016). Lion optimization algorithm (LOA): a nature-inspired metaheuristic algorithm.

- grained image-text alignment and anatomy-pathology prompting. In International conference on medical image computing and computer-assisted intervention (pp. 240-250). Cham: Springer Nature Switzerland.
108. Chen, W., Wang, P., Ren, H., Sun, L., Li, Q., Yuan, Y., & Li, X. (2024, October). Medical image synthesis via fine-grained image-text alignment and anatomy-pathology prompting. In International conference on medical image computing and computer-assisted intervention (pp. 240-250). Cham: Springer Nature Switzerland.
 109. Pasquier, P., Ens, J., Fradet, N., Triana, P., Rizzotti, D., Rolland, J. B., & Safi, M. (2025, April). MIDI-GPT: A controllable generative model for computer-assisted multitrack music composition. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (Vol. 39, No. 2, pp. 1474-1482).
 110. Tang, J., Han, X., Pan, J., Jia, K., & Tong, X. (2019). A skeleton-bridged deep learning approach for generating meshes of complex topologies from single rgb images. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (pp. 4541-4550).
 111. Maimone, A., Georgiou, A., & Kollin, J. S. (2017). Holographic near-eye displays for virtual and augmented reality. *ACM Transactions on Graphics (Tog)*, 36(4), 1-16.
 112. Narasimhan, A., & Rao, K. P. A. V. (2021). CGEMs: A metric model for automatic code generation using GPT-3. *arXiv preprint arXiv:2108.10168*.
 113. Farghal, T., Shraideh, K., & Al-Omari, A. M. (2025). Evaluating Free Legal Translation Tools between Arabic and English: A Comparative Study of Google Translate, ChatGPT, and Gemini. *International Journal for the Semiotics of Law-Revue internationale de Sémiotique juridique*, 1-28.
 114. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019, June). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In Proceedings of the 2019 conference of the North American chapter of the association for computational linguistics: human language technologies, volume 1 (long and short papers) (pp. 4171-4186).
 115. Espinoza, J., Crown, K., & Kulkarni, O. (2020). A guide to chatbots for COVID-19 screening at pediatric health care facilities. *JMIR public health and surveillance*, 6(2), e18808.
 116. Min, M., Chen, X. B., Wang, P., Landeck, L., Chen, J. Q., Li, W., ... & Man, X. Y. (2017). Role of keratin 24 in human epidermal keratinocytes. *PLoS One*, 12(3), e0174626.
 117. Krishna, K., Bigham, J. P., & Lipton, Z. C. (2021, November). Does pretraining for summarization require knowledge transfer?. In Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021 (pp. 3178-3189).
 118. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., ... & Amodei, D. (2020). Language mod-
 - methods of plant disease detection. A review. *Agronomy for sustainable development*, 35(1), 1-25.
 95. Escobar-Grisales, D., Ríos-Urrego, C. D., & Orozco-Aroyave, J. R. (2023). Deep learning and artificial intelligence applied to model speech and language in Parkinson's disease. *Diagnostics*, 13(13), 2163.
 96. Du, W., & Han, Q. (2021, November). Research on application of artificial intelligence in movie industry. In 2021 International Conference on Image, Video Processing, and Artificial Intelligence (Vol. 12076, pp. 265-270). SPIE.
 97. Covington, P., Adams, J., & Sargin, E. (2016, September). Deep neural networks for youtube recommendations. In Proceedings of the 10th ACM conference on recommender systems (pp. 191-198).
 98. Lian, D., Wu, Y., Ge, Y., Xie, X., & Chen, E. (2020, August). Geography-aware sequential location recommendation. In Proceedings of the 26th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery & data mining (pp. 2009-2019).
 99. Steck, H. (2013, October). Evaluation of recommendations: rating-prediction and ranking. In Proceedings of the 7th ACM conference on Recommender systems (pp. 213-220).
 100. Raca, M., Tormey, R., & Dillenbourg, P. (2014, March). Sleepers' lag-study on motion and attention. In Proceedings of the fourth international conference on learning analytics and knowledge (pp. 36-43).
 101. Boukouvala, F., Misener, R., & Floudas, C. A. (2016). Global optimization advances in mixed-integer nonlinear programming, MINLP, and constrained derivative-free optimization, CDFO. *European Journal of Operational Research*, 252(3), 701-727.
 102. Revanna, J. K. C., & Al-Nakash, N. Y. B. (2023). Metaheuristic link prediction (MLP) using AI based ACO-GA optimization model for solving vehicle routing problem. *International Journal of Information Technology*, 15(7), 3425-3439.
 103. Bazzi, S., & Sternad, D. (2020). Robustness in human manipulation of dynamically complex objects through control contraction metrics. *IEEE robotics and automation letters*, 5(2), 2578-2585.
 104. Markowitz, H. M. (2008). *Portfolio selection: efficient diversification of investments*. Yale university press.
 105. Silver, D., Schrittwieser, J., Simonyan, K., Antonoglou, I., Huang, A., Guez, A., ... & Hassabis, D. (2017). Mastering the game of go without human knowledge. *nature*, 550(7676), 354-359.
 106. Romanchenko, D., Odenberger, M., Göransson, L., & Johnsson, F. (2017). Impact of electricity price fluctuations on the operation of district heating systems: A case study of district heating in Göteborg, Sweden. *Applied Energy*, 204, 16-30.
 107. Chen, W., Wang, P., Ren, H., Sun, L., Li, Q., Yuan, Y., & Li, X. (2024, October). Medical image synthesis via fine-

- els are few-shot learners. *Advances in neural information processing systems*, 33, 1877-1901.
119. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., ... & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in neural information processing systems*, 33, 1877-1901.
 120. Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., ... & Zheng, X. (2016). {TensorFlow}: a system for {Large-Scale} machine learning. In 12th USENIX symposium on operating systems design and implementation (OSDI 16) (pp. 265-283).
 121. Paszke, A., Gross, S., Massa, F., Lerer, A., Bradbury, J., Chanan, G., ... & Chintala, S. (2019). Pytorch: An imperative style, high-performance deep learning library. *Advances in neural information processing systems*, 32.
 122. Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2023, July). Robust speech recognition via large-scale weak supervision. In *International conference on machine learning* (pp. 28492-28518). PMLR.
 123. Liang, Y., Wu, C., Song, T., Wu, W., Xia, Y., Liu, Y., ... & Duan, N. (2024). Taskmatrix. ai: Completing tasks by connecting foundation models with millions of apis. *Intelligent Computing*, 3, 0063.
 124. Kamath, U., Keenan, K., Somers, G., & Sorenson, S. (2024). Large language models: A deep dive. *Springer Nature*, DOI, 10, 978-3.
 125. Howard, J., & Ruder, S. (2018). Universal language model fine-tuning for text classification. *arXiv preprint arXiv:1801.06146*.
 126. Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., ... & Zheng, X. (2016). {TensorFlow}: a system for {Large-Scale} machine learning. In 12th USENIX symposium on operating systems design and implementation (OSDI 16) (pp. 265-283).
 127. Paszke, A., Gross, S., Massa, F., Lerer, A., Bradbury, J., Chanan, G., ... & Chintala, S. (2019). Pytorch: An imperative style, high-performance deep learning library. *Advances in neural information processing systems*, 32.