



الحمد لله رب العالمين



## پایان نامه دوره کارشناسی پیوسته

رشته: مهندسی حرفه ای کامپیوتر کارشناسی پیوسته

موضوع پروژه:

«بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر»

استاد راهنما:

استاد شیدا افتخارحسینی

تهیه شده توسط:

زهرا کوراوند / 03221031705022

نگارش: تابستان / 1405



تاییدیه هیئت داوران:

## تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری خداوند متعال، این پژوهش به پایان رسیده است، بر خود لازم می‌دانم از تمامی افرادی که در مسیر انجام و به ثمر رسیدن این پایان‌نامه مرا یاری و همراهی کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. در درجه نخست، مراتب سپاس و قدردانی خود را از استاد گرانقدر، سرکار خانم استاد شیدا افتخارحسینی که با دانش، راهنمایی‌های ارزشمند، دقت نظر و حمایت‌های علمی خود در تمامی مراحل انجام این پژوهش راهگشای من بودند، ابراز می‌دارم. بدون تردید، راهنمایی‌ها و نظرات سازنده ایشان نقش بسزایی در شکل‌گیری، پیشبرد و تکمیل این پژوهش داشته است. همچنین از تمامی استادان محترم که در طول دوران تحصیل با دانش و تجربیات ارزشمند خود زمینه رشد علمی و فکری مرا فراهم نمودند، صمیمانه سپاسگزارم. در پایان، از خانواده عزیزم که با محبت، صبوری، حمایت و همراهی همیشگی خود در تمام مراحل تحصیل و انجام این پژوهش پشتیبان من بودند، صمیمانه تشکر می‌کنم و از خداوند متعال برای همه این عزیزان سلامتی، موفقیت و سربلندی مسئلت دارم.

## با سپاس و احترام

## چکیده

هوش مصنوعی به عنوان یکی از مهم ترین حوزه های علوم کامپیوتر، در سال های اخیر پیشرفت چشمگیری داشته و به یکی از فناوری های تأثیرگذار در بسیاری از زمینه های علمی و صنعتی تبدیل شده است. گسترش حجم داده ها، افزایش توان پردازشی رایانه ها و توسعه الگوریتم های پیشرفته، زمینه استفاده گسترده از روش های هوشمند را برای حل مسائل پیچیده فراهم کرده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی جامع هوش مصنوعی، روش ها، الگوریتم ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر انجام شده است. در این پژوهش، ابتدا مفاهیم بنیادی و روند تحول هوش مصنوعی بررسی شده و سپس مهم ترین شاخه های آن شامل یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین و رباتیک مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین روش های اصلی یادگیری ماشین شامل یادگیری نظارت شده، یادگیری بدون نظارت، یادگیری نیمه نظارتی و یادگیری تقویتی بررسی و الگوریتم های مهمی مانند رگرسیون، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، K-Means و شبکه های عصبی مورد مقایسه قرار گرفته اند. در ادامه، نقش یادگیری عمیق و معماری های نوینی مانند شبکه های عصبی عمیق و Transformer و همچنین قابلیت های هوش مصنوعی مولد در تولید متن، تصویر و کد بررسی شده است. روش پژوهش حاضر توصیفی - تحلیلی و مبتنی بر مطالعات کتابخانه ای و بررسی منابع علمی و پژوهش های پیشین است. یافته های پژوهش نشان می دهد که هیچ الگوریتمی برای تمامی مسائل بهترین گزینه نیست و انتخاب روش مناسب به عواملی مانند نوع مسئله، ساختار و کیفیت داده، دقت مورد نیاز، پیچیدگی محاسباتی و منابع در دسترس وابسته است. همچنین مشخص شد که هوش مصنوعی در حوزه هایی مانند مهندسی نرم افزار، امنیت سایبری، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، پایگاه های داده، رباتیک، اینترنت اشیا و سیستم های توصیه گر کاربرد گسترده ای دارد. در کنار مزایای قابل توجه، چالش هایی همچون نیاز به داده های باکیفیت، هزینه محاسباتی، امنیت، حریم خصوصی، سوگیری الگوریتمی و تفسیرپذیری نیز از عوامل مهم در توسعه و استفاده از سامانه های هوشمند به شمار می روند. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می دهد که هوش مصنوعی با تکیه بر توسعه الگوریتم های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و مدل های مولد، نقش مهمی در تحول علوم کامپیوتر ایفا می کند و توسعه کاربردهای آن مستلزم توجه همزمان به عملکرد، امنیت، قابلیت اعتماد و ملاحظات اخلاقی است.

## کلمات کلیدی

هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، الگوریتم های هوش مصنوعی، هوش مصنوعی مولد، علوم کامپیوتر

## فهرست

|    |                                    |
|----|------------------------------------|
| ت  | چکیده                              |
| 1  | فصل اول                            |
| 2  | مقدمه 1.1                          |
| 3  | ۱-۲ بیان مسئله                     |
| 4  | ۱-۳ اهمیت و ضرورت تحقیق            |
| 5  | ۱-۴ اهداف تحقیق                    |
| 7  | ۱-۵ پرسش‌های تحقیق                 |
| 10 | ۱-۶ محدوده و قلمرو تحقیق           |
| 12 | ۱-۷ روش کلی تحقیق                  |
| 13 | ۱-۸ نوآوری و جنبه‌های متمایز تحقیق |
| 14 | ۱-۹ کاربردهای مورد انتظار تحقیق    |
| 14 | ۱-۱۰ تعریف واژه‌ها و مفاهیم کلیدی  |
| 18 | ۱-۱۱ ساختار پایان‌نامه             |
| 20 | فصل دوم: ادبیات و پیشینه تحقیق     |
| 21 | 2.1 مقدمه                          |
| 21 | ۲-۲ تاریخچه و روند تحول هوش مصنوعی |
| 27 | ۲-۳ مبانی و مفاهیم هوش مصنوعی      |
| 31 | ۲-۴ شاخه‌های اصلی هوش مصنوعی       |
| 38 | ۲-۵ روش‌های یادگیری ماشین          |
| 40 | ۲-۶ الگوریتم‌های مهم یادگیری ماشین |
| 43 | ۲-۷ شبکه‌های عصبی مصنوعی           |
| 47 | ۲-۸ یادگیری عمیق                   |
| 49 | ۲-۹ هوش مصنوعی مولد                |
| 51 | ۲-۱۰ مطالعات و پژوهش‌های پیشین     |
| 54 | ۲-۱۱ جمع‌بندی فصل دوم              |

|    |                                                             |
|----|-------------------------------------------------------------|
| 55 | فصل سوم: روش تحقیق و تحلیل روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی |
| 56 | ۳-۱ مقدمه                                                   |
| 56 | ۳-۲ روش انجام تحقیق                                         |
| 57 | ۳-۳ رویکرد پژوهش                                            |
| 57 | ۳-۴ روش گردآوری اطلاعات                                     |
| 58 | ۳-۵ منابع و پایگاه‌های اطلاعاتی مورد استفاده                |
| 59 | ۳-۶ معیار انتخاب منابع                                      |
| 59 | ۳-۷ مراحل انجام پژوهش                                       |
| 60 | ۳-۸ چارچوب تحلیل الگوریتم‌های هوش مصنوعی                    |
| 63 | ۳-۹ تحلیل الگوریتم‌های یادگیری ماشین                        |
| 65 | ۳-۱۰ تحلیل الگوریتم‌های یادگیری عمیق                        |
| 68 | ۳-۱۱ مقایسه الگوریتم‌ها                                     |
| 68 | ۳-۱۲ معیارهای ارزیابی مدل‌های هوش مصنوعی                    |
| 70 | ۳-۱۳ چالش‌های فنی الگوریتم‌های هوش مصنوعی                   |
| 74 | ۳-۱۵ جمع‌بندی فصل سوم                                       |
| 75 | فصل چهارم: کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر            |
| 76 | ۴-۱ مقدمه                                                   |
| 76 | ۴-۲ کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی نرم‌افزار                   |
| 79 | ۴-۳ کاربرد هوش مصنوعی در امنیت سایبری                       |
| 81 | ۴-۴ کاربرد هوش مصنوعی در پایگاه‌های داده                    |
| 82 | ۴-۵ کاربرد هوش مصنوعی در پردازش زبان طبیعی                  |
| 84 | ۴-۶ کاربرد هوش مصنوعی در بینایی ماشین                       |
| 86 | ۴-۷ کاربرد هوش مصنوعی در رباتیک                             |
| 87 | ۴-۸ کاربرد هوش مصنوعی در سیستم‌های توصیه‌گر                 |
| 87 | ۴-۹ کاربرد هوش مصنوعی در رایانش ابری                        |
| 87 | ۴-۱۰ کاربرد هوش مصنوعی در رایانش لبه‌ای                     |
| 88 | ۴-۱۱ کاربرد هوش مصنوعی در اینترنت اشیا                      |
| 88 | ۴-۱۲ کاربرد هوش مصنوعی در کلان‌داده                         |
| 88 | ۴-۱۳ تحلیل مزایا و محدودیت‌های کاربرد هوش مصنوعی            |

|      |                                                            |     |
|------|------------------------------------------------------------|-----|
| ۴-۱۴ | چالش‌های اخلاقی و امنیتی                                   | 89  |
| ۴-۱۴ | چالش‌های اخلاقی و امنیتی                                   | 90  |
| ۴-۱۵ | جمع‌بندی فصل چهارم                                         | 92  |
|      | فصل پنجم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها                      | 94  |
| ۵-۱  | مقدمه                                                      | 94  |
| ۵-۲  | جمع‌بندی کلی پژوهش                                         | 95  |
| ۵-۳  | بحث و تحلیل یافته‌های پژوهش                                | 95  |
| ۵-۴  | پاسخ به پرسش‌های تحقیق                                     | 96  |
| ۵-۵  | بررسی میزان تحقق اهداف تحقیق                               | 97  |
| ۵-۶  | مهم‌ترین یافته‌ها و دستاوردهای پژوهش                       | 97  |
| ۵-۷  | مزایا و محدودیت‌های استفاده از هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر | 98  |
| ۵-۸  | نتیجه‌گیری نهایی                                           | 98  |
| ۵-۹  | پیشنهاد‌های کاربردی                                        | 98  |
| ۵-۱۰ | پیشنهاد‌هایی برای پژوهش‌های آینده                          | 99  |
| ۵-۱۱ | جمع‌بندی فصل پنجم                                          | 101 |
|      | بخش ششم: پیوست‌ها                                          | 101 |
|      | بخش هفتم: منابع و مآخذ                                     | 105 |
|      | منابع فارسی                                                | 105 |
|      | منابع انگلیسی                                              | 108 |

## فصل اول

## 1.1 مقدمه

هوش مصنوعی به عنوان یکی از مهم ترین و اثرگذارترین حوزه های علوم کامپیوتر، به مجموعه ای از روش ها و سامانه های محاسباتی اشاره دارد که می توانند بر اساس اهداف مشخص و با استفاده از داده های ورودی، خروجی هایی مانند پیش بینی، تولید محتوا، ارائه پیشنهاد یا تصمیم گیری ایجاد کنند. سامانه های هوش مصنوعی می توانند از نظر میزان خودکار بودن، سازگاری با شرایط و نحوه پردازش اطلاعات با یکدیگر متفاوت باشند [1]. در سال های اخیر، پیشرفت توان پردازشی رایانه ها، افزایش حجم و تنوع داده های دیجیتال و توسعه الگوریتم های یادگیری، موجب شده است که هوش مصنوعی از یک حوزه تخصصی و پژوهشی به یکی از فناوری های مهم در توسعه سامانه های نرم افزاری و محاسباتی تبدیل شود. [2] ریشه های هوش مصنوعی به تلاش های علمی برای شبیه سازی برخی قابلیت های شناختی انسان در ماشین ها بازمی گردد؛ با این حال، مسیر توسعه این حوزه در طول زمان تغییرات گسترده ای داشته است. در مراحل اولیه، تمرکز بیشتر بر سیستم های مبتنی بر قواعد و روش های نمادین بود، در حالی که با گسترش یادگیری ماشین، امکان استخراج الگوها و روابط از داده ها فراهم شد. در ادامه، یادگیری عمیق با استفاده از شبکه های عصبی چندلایه توانست در بسیاری از مسائل مرتبط با تصویر، زبان، صوت و سایر داده های پیچیده عملکرد قابل توجهی ارائه کند. همچنین ظهور معماری های جدید مانند Transformer و گسترش مدل های مولد، دامنه کاربردهای هوش مصنوعی را بیش از گذشته توسعه داده است. [1] اهمیت روزافزون این حوزه را می توان در روند رشد پژوهش های مرتبط با هوش مصنوعی نیز مشاهده کرد. بر اساس گزارش **AI Index** دانشگاه استنفورد، تعداد انتشارات مرتبط با هوش مصنوعی در حوزه های علوم کامپیوتر و سایر رشته های علمی در فاصله سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ تقریباً سه برابر شده و از حدود ۱۰۲ هزار مقاله به بیش از ۲۴۲ هزار مقاله رسیده است. همچنین سهم انتشارات مرتبط با هوش مصنوعی از کل انتشارات علوم کامپیوتر در همین دوره از ۲۱/۶ درصد به ۴۱/۸ درصد افزایش یافته است [2]. این روند نشان دهنده گسترش جایگاه هوش مصنوعی در فعالیت های علمی و پژوهشی و ارتباط روزافزون آن با مسائل مختلف علوم کامپیوتر است. هوش مصنوعی امروزه تنها به یک الگوریتم یا فناوری مشخص محدود نمی شود، بلکه مجموعه ای گسترده از روش ها و شاخه ها را دربرمی گیرد. یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، سیستم های خبره و روش های مختلف تحلیل داده از جمله حوزه هایی هستند که در چارچوب گسترده هوش مصنوعی مورد مطالعه و استفاده قرار می گیرند. هر یک از این روش ها برای نوع خاصی از مسائل طراحی شده اند و انتخاب میان آنها به عواملی مانند نوع داده، هدف مسئله، میزان داده در دسترس، دقت مورد انتظار، هزینه محاسباتی و قابلیت تفسیر مدل وابسته است. [1] از سوی دیگر، گسترش هوش مصنوعی مولد، تحول مهم دیگری در این حوزه ایجاد کرده است. مدل های مولد می توانند با پردازش داده های آموزشی و یادگیری الگوهای موجود در آنها، خروجی هایی مانند متن، تصویر، صدا و کد تولید کنند. این قابلیت ها باعث شده اند که هوش مصنوعی علاوه بر نقش سنتی خود در طبقه بندی، پیش بینی و تشخیص الگو، در فرایندهای تولید محتوا و توسعه نرم افزار نیز مورد استفاده قرار گیرد [2]. در نتیجه، شناخت اصول، روش ها و الگوریتم های هوش مصنوعی برای دانشجویان و پژوهشگران علوم کامپیوتر اهمیت بیشتری پیدا کرده است.

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه، استفاده از هوش مصنوعی تنها به افزایش دقت و سرعت محدود نمی‌شود. سامانه‌های هوشمند می‌توانند با چالش‌هایی مانند سوگیری داده‌ها، کاهش شفافیت تصمیم‌ها، مسائل مربوط به حریم خصوصی، امنیت، قابلیت اطمینان و دشواری ارزیابی عملکرد مواجه شوند. به همین دلیل، توسعه و استفاده مسئولانه از هوش مصنوعی نیازمند توجه هم‌زمان به عملکرد فنی و ویژگی‌هایی مانند قابلیت اعتماد، امنیت، شفافیت، توضیح‌پذیری و حفظ حریم خصوصی است. [3] بر این اساس، پژوهش حاضر با تمرکز بر بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر تلاش می‌کند تصویری منسجم از مفاهیم بنیادی این حوزه، روش‌های اصلی یادگیری، الگوریتم‌های پرکاربرد، روند توسعه یادگیری عمیق و هوش مصنوعی مولد و همچنین مهم‌ترین کاربردهای آن در علوم کامپیوتر ارائه دهد. در این پژوهش علاوه بر معرفی روش‌ها، تلاش می‌شود ویژگی‌ها، مزایا، محدودیت‌ها و زمینه‌های کاربرد الگوریتم‌های مهم نیز مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد تا درک دقیق‌تری از جایگاه و ظرفیت‌های هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر به دست آید.

## ۲-۱ بیان مسئله

گسترش سریع فناوری‌های دیجیتال و افزایش حجم داده‌های تولیدشده در سامانه‌های مختلف، نیاز به روش‌هایی برای پردازش، تحلیل و استخراج اطلاعات از داده‌ها را افزایش داده است. روش‌های سنتی برنامه‌نویسی در بسیاری از مسائل، نیازمند تعریف صریح قواعد و مراحل حل مسئله هستند؛ در حالی که بخش قابل توجهی از مسائل جدید دارای الگوهای پیچیده، داده‌های حجیم و روابطی هستند که تعریف مستقیم آن‌ها دشوار است. هوش مصنوعی و به‌ویژه روش‌های یادگیری ماشین این امکان را فراهم کرده‌اند که سامانه‌ها با استفاده از داده‌ها، الگوهای موجود را شناسایی کرده و برای پیش‌بینی، طبقه‌بندی، تولید محتوا یا تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار دهند. [1] یکی از مسائل اساسی در حوزه هوش مصنوعی، تنوع بسیار زیاد روش‌ها و الگوریتم‌ها است. الگوریتم‌هایی مانند درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، K-Means، شبکه‌های عصبی و مدل‌های یادگیری عمیق، هر یک ویژگی‌ها، نقاط قوت و محدودیت‌های متفاوتی دارند. برای مثال، برخی الگوریتم‌ها برای مسائل طبقه‌بندی مناسب هستند، برخی در خوشه‌بندی داده‌ها کاربرد دارند و برخی دیگر برای پردازش داده‌های پیچیده مانند تصویر، صوت و متن عملکرد مناسب‌تری ارائه می‌کنند. بنابراین، نمی‌توان یک الگوریتم واحد را برای تمامی مسائل هوش مصنوعی مناسب دانست و انتخاب الگوریتم باید متناسب با ویژگی‌های مسئله و داده انجام شود. این مسئله با ظهور یادگیری عمیق و مدل‌های بزرگ هوش مصنوعی پیچیده‌تر شده است. مدل‌های جدید به حجم قابل توجهی از داده و منابع محاسباتی نیاز دارند و در عین حال می‌توانند قابلیت‌های پیشرفته‌ای در پردازش زبان، بینایی ماشین و تولید محتوا ارائه دهند. گزارش AI Index نشان می‌دهد که مدل‌های هوش مصنوعی در سال‌های اخیر از نظر اندازه، میزان محاسبات موردنیاز و حجم داده‌های آموزشی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته‌اند [2]. بنابراین، بررسی روش‌های مختلف و شناخت تفاوت میان الگوریتم‌های سنتی یادگیری ماشین و مدل‌های پیشرفته یادگیری عمیق اهمیت زیادی دارد. از سوی دیگر، توسعه هوش مصنوعی موجب

شده است که این فناوری در بخش‌های متنوع علوم کامپیوتر مورد استفاده قرار گیرد. در مهندسی نرم‌افزار، هوش مصنوعی می‌تواند در تولید و تکمیل کد، تشخیص خطا، آزمون نرم‌افزار و کمک به توسعه برنامه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در امنیت سایبری نیز روش‌های هوشمند برای شناسایی ناهنجاری‌ها، تشخیص تهدیدها و تحلیل الگوهای حملات کاربرد دارند. پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، سیستم‌های توصیه‌گر، پایگاه‌های داده و اینترنت اشیا نیز از دیگر زمینه‌هایی هستند که از روش‌های هوش مصنوعی بهره می‌برند. با وجود گستردگی کاربردها، استفاده از هوش مصنوعی با چالش‌های مختلفی همراه است. کیفیت و میزان داده‌های آموزشی، هزینه‌های محاسباتی، امکان ایجاد سوگیری، دشواری تفسیر برخی مدل‌ها، حفظ حریم خصوصی و امنیت سامانه‌ها از جمله عواملی هستند که می‌توانند بر عملکرد و قابلیت اعتماد سیستم‌های هوشمند تأثیر بگذارند [3]. NIST نیز بر ضرورت مدیریت ریسک‌های مرتبط با طراحی، توسعه، استفاده و ارزیابی سامانه‌های هوش مصنوعی و توجه به ویژگی‌های قابل اعتماد بودن این سامانه‌ها تأکید کرده است. [3] بنابراین، مسئله اصلی پژوهش حاضر این است که با توجه به گستردگی و تنوع روزافزون روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، شناخت جامع این روش‌ها، مقایسه ویژگی‌ها و محدودیت‌های آن‌ها و بررسی کاربردهایشان در علوم کامپیوتر چگونه می‌تواند به درک بهتر ظرفیت‌ها و انتخاب مناسب‌تر روش‌های هوشمند کمک کند؟ پاسخ به این مسئله مستلزم بررسی منظم مفاهیم بنیادی هوش مصنوعی، روش‌های یادگیری ماشین، الگوریتم‌های مهم، یادگیری عمیق، مدل‌های مولد و کاربردهای آن‌ها در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر است.

## ۳-۱ اهمیت و ضرورت تحقیق

اهمیت پژوهش حاضر از جایگاه روزافزون هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر و توسعه فناوری‌های دیجیتال ناشی می‌شود. هوش مصنوعی در حال تبدیل شدن به یکی از محورهای اصلی پژوهش و توسعه در علوم کامپیوتر است و رشد تعداد پژوهش‌های مرتبط با این حوزه نشان می‌دهد که AI بخش قابل توجهی از فعالیت‌های علمی این رشته را به خود اختصاص داده است. طبق گزارش Stanford AI Index، سهم انتشارات مرتبط با هوش مصنوعی از انتشارات علوم کامپیوتر طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ از ۲۱/۶ درصد به ۴۱/۸ درصد افزایش یافته است [2]. این روند اهمیت بررسی علمی و منظم هوش مصنوعی را در مطالعات علوم کامپیوتر نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین دلایل ضرورت این تحقیق، تنوع روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی است. الگوریتم‌های مختلف از نظر نحوه یادگیری، نوع داده قابل پردازش، دقت، سرعت، میزان پیچیدگی و نیاز به منابع محاسباتی با یکدیگر تفاوت دارند. در نتیجه، شناخت ویژگی‌های این الگوریتم‌ها می‌تواند به انتخاب روش مناسب برای حل مسائل مختلف کمک کند. بررسی و مقایسه الگوریتم‌ها از این نظر اهمیت دارد که استفاده از یک روش نامناسب می‌تواند موجب کاهش دقت، افزایش هزینه محاسباتی یا کاهش قابلیت تفسیر نتایج شود. دلیل دیگر اهمیت این پژوهش، گسترش یادگیری عمیق و هوش مصنوعی مولد است. پیشرفت مدل‌های عمیق و معماری‌های جدید، قابلیت‌های هوش مصنوعی را در زمینه‌هایی مانند پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین و تولید محتوا افزایش داده است.

گزارش‌های جدید نشان می‌دهند که مدل‌های هوش مصنوعی نه تنها از نظر عملکرد فنی پیشرفت کرده‌اند، بلکه استفاده سازمانی از AI نیز به سرعت در حال افزایش است [2]. بنابراین، بررسی تحولات جدید این حوزه برای شناخت مسیر آینده علوم کامپیوتر ضروری است. از منظر کاربردی نیز این تحقیق اهمیت دارد؛ زیرا هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف علوم کامپیوتر نقش ایفا می‌کند. استفاده از AI در مهندسی نرم‌افزار می‌تواند برخی فعالیت‌های توسعه و آزمون نرم‌افزار را پشتیبانی کند، در امنیت سایبری می‌تواند برای تحلیل داده‌ها و شناسایی الگوهای مشکوک به کار رود و در پردازش زبان طبیعی و بینایی ماشین امکان پردازش و تفسیر داده‌های پیچیده را فراهم می‌کند. گسترش چنین کاربردهایی نشان می‌دهد که شناخت اصول و روش‌های هوش مصنوعی دیگر تنها برای متخصصان یک حوزه خاص ضروری نیست، بلکه به بخشی مهم از دانش علوم کامپیوتر تبدیل شده است. در کنار فرصت‌های ایجادشده، ضرورت توجه به چالش‌ها و ریسک‌های هوش مصنوعی نیز یکی از دلایل انجام این پژوهش است. سامانه‌های هوش مصنوعی ممکن است تحت تأثیر کیفیت داده‌های آموزشی، سوگیری داده، تغییر شرایط محیطی یا محدودیت‌های مدل قرار گیرند. همچنین برخی مدل‌های پیچیده ممکن است تصمیم‌هایی ارائه دهند که توضیح علت آن‌ها دشوار باشد NIST. در چارچوب مدیریت ریسک هوش مصنوعی، بر ضرورت توجه به قابلیت اعتماد، ایمنی، امنیت، شفافیت، توضیح‌پذیری و حفظ حریم خصوصی در طراحی، توسعه و استفاده از سامانه‌های AI تأکید می‌کند [3]. از این رو، بررسی هوش مصنوعی بدون در نظر گرفتن محدودیت‌ها و ریسک‌های آن، تصویری ناقص از این فناوری ارائه خواهد کرد. ضرورت دیگر پژوهش حاضر به نیاز به یک دیدگاه جامع و یکپارچه مربوط می‌شود. مطالعات مختلف معمولاً بر یک الگوریتم، یک روش یادگیری یا یک کاربرد خاص تمرکز دارند؛ در حالی که برای درک جایگاه هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر لازم است ارتباط میان مفاهیم بنیادی، روش‌های یادگیری، الگوریتم‌ها، مدل‌های عمیق، مدل‌های مولد و کاربردهای عملی آن‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد. این پژوهش تلاش می‌کند با کنار هم قرار دادن این موضوعات، تصویری منظم و قابل استفاده از وضعیت و ظرفیت‌های هوش مصنوعی ارائه کند. در مجموع، ضرورت انجام این تحقیق را می‌توان در سه سطح علمی، فنی و کاربردی بررسی کرد. از نظر علمی، رشد سریع پژوهش‌های هوش مصنوعی و افزایش ارتباط آن با علوم کامپیوتر، مطالعه نظام‌مند این حوزه را ضروری کرده است. از نظر فنی، تنوع الگوریتم‌ها و تفاوت عملکرد آن‌ها، نیازمند شناخت و مقایسه دقیق روش‌هاست. از نظر کاربردی نیز گسترش استفاده از AI در مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پردازش زبان، بینایی ماشین و سایر حوزه‌ها، ضرورت شناخت قابلیت‌ها و محدودیت‌های آن را افزایش داده است. بنابراین، پژوهش حاضر می‌تواند چارچوبی منسجم برای شناخت روش‌ها، الگوریتم‌ها، کاربردها و چالش‌های هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر فراهم کند.

#### ۴-۱ اهداف تحقیق

پژوهش حاضر با توجه به گسترش روزافزون فناوری‌های هوش مصنوعی و افزایش نقش آن در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر، با هدف ایجاد یک دیدگاه منسجم و جامع نسبت به مفاهیم، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای این فناوری انجام می‌شود. با توجه به تنوع گسترده الگوریتم‌های هوش مصنوعی

وتفاوت آن‌ها از نظر نوع داده، شیوه یادگیری، دقت، پیچیدگی محاسباتی و حوزه کاربرد، شناخت ویژگی‌ها و قابلیت‌های هر روش برای انتخاب مناسب الگوریتم در مسائل مختلف اهمیت دارد [1]. همچنین با توجه به توسعه سریع یادگیری عمیق و مدل‌های هوش مصنوعی مولد، بررسی روندهای جدید این حوزه و تأثیر آن‌ها بر علوم کامپیوتر ضروری است [2]. از این رو، اهداف پژوهش حاضر در دو سطح هدف اصلی و اهداف فرعی تعیین شده‌اند.

#### ۱-۴-۱ هدف اصلی

هدف اصلی این پژوهش، بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر است. در این راستا تلاش می‌شود ضمن معرفی مفاهیم بنیادی هوش مصنوعی، مهم‌ترین روش‌های یادگیری ماشین، الگوریتم‌های پرکاربرد، شبکه‌های عصبی، یادگیری عمیق و هوش مصنوعی مولد مورد بررسی قرار گیرند و ویژگی‌ها، قابلیت‌ها، مزایا و محدودیت‌های آن‌ها تحلیل شود. همچنین پژوهش به دنبال بررسی نقش و کاربرد هوش مصنوعی در حوزه‌هایی از علوم کامپیوتر مانند مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، اینترنت اشیا و سیستم‌های توصیه‌گر است. هدف نهایی آن است که با ایجاد یک تصویر منظم و یکپارچه از روش‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی، شناخت مناسب‌تری از ظرفیت‌های این فناوری و معیارهای مؤثر در انتخاب و استفاده از روش‌های مختلف هوشمند فراهم شود.

#### ۱-۴-۲ اهداف فرعی

اهداف فرعی پژوهش عبارت‌اند از:

1. بررسی مفهوم و مبانی نظری هوش مصنوعی و شناخت جایگاه آن در علوم کامپیوتر.
2. بررسی تاریخچه و روند تحول هوش مصنوعی از روش‌های اولیه مبتنی بر قواعد تا یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و هوش مصنوعی مولد.
3. شناسایی و بررسی روش‌های اصلی یادگیری ماشین شامل یادگیری نظارت‌شده، بدون نظارت، نیمه‌نظارتی و تقویتی.
4. بررسی الگوریتم‌های مهم و پرکاربرد هوش مصنوعی مانند درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، K-Means، رگرسیون و شبکه‌های عصبی.
5. بررسی ساختار و عملکرد شبکه‌های عصبی و روش‌های یادگیری عمیق و شناخت معماری‌های مهم مورد استفاده در مسائل پیچیده.
6. بررسی نقش معماری‌های نوین مانند Transformer در توسعه مدل‌های پیشرفته هوش مصنوعی و کاربردهای مرتبط با پردازش زبان و سایر داده‌های پیچیده.

7. بررسی مفهوم و قابلیت‌های هوش مصنوعی مولد و شناخت کاربرد آن در تولید متن، تصویر، کد و سایر محتواهای دیجیتال .
8. مقایسه الگوریتم‌های مهم هوش مصنوعی از نظر دقت، سرعت، پیچیدگی محاسباتی، نیاز به داده، تفسیرپذیری و حوزه کاربرد .
9. بررسی کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر و شناسایی مهم‌ترین زمینه‌های استفاده از روش‌های هوشمند .
10. بررسی کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی نرم‌افزار از جمله تولید کد، آزمون نرم‌افزار، تشخیص خطا و پشتیبانی از فرایند توسعه نرم‌افزار .
11. بررسی کاربرد هوش مصنوعی در امنیت سایبری از جمله شناسایی ناهنجاری، تشخیص تهدید و تحلیل الگوهای حملات .
12. بررسی کاربردهای هوش مصنوعی در پردازش زبان طبیعی و بینایی ماشین و شناخت قابلیت‌های این روش‌ها در پردازش داده‌های متنی و تصویری .
13. شناسایی چالش‌ها و محدودیت‌های استفاده از هوش مصنوعی شامل کیفیت داده، هزینه محاسباتی، امنیت، حریم خصوصی، سوگیری و تفسیرپذیری [3].
14. بررسی چشم‌انداز توسعه هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر و شناسایی زمینه‌های مهم برای تحقیقات و توسعه‌های آینده .

## ۵-۱ پرسش‌های تحقیق

با توجه به اهداف تعیین‌شده، پرسش اصلی و پرسش‌های فرعی پژوهش به شرح زیر تدوین شده‌اند:

پرسش اصلی

هوش مصنوعی، روش‌ها و الگوریتم‌های اصلی آن چه ویژگی‌ها، قابلیت‌ها و محدودیت‌هایی دارند و چگونه در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر مورد استفاده قرار می‌گیرند؟

پرسش‌های فرعی

1. هوش مصنوعی چیست و چه جایگاهی در علوم کامپیوتر دارد؟
2. هوش مصنوعی از زمان شکل‌گیری تا امروز چه روندی را طی کرده است؟
3. مهم‌ترین روش‌های یادگیری ماشین کدام‌اند و هر یک در چه شرایطی کاربرد بیشتری دارند؟

4. مهم‌ترین الگوریتم‌های هوش مصنوعی کدام‌اند و چه تفاوتی از نظر عملکرد، مزایا و محدودیت‌ها با یکدیگر دارند؟
5. شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق چه نقشی در توسعه سامانه‌های هوشمند دارند؟
6. معماری‌های نوینی مانند Transformer چه تأثیری بر توسعه مدل‌های پیشرفته هوش مصنوعی داشته‌اند؟
7. هوش مصنوعی مولد چیست و مهم‌ترین کاربردهای آن در علوم کامپیوتر کدام‌اند؟
8. چه عواملی در انتخاب الگوریتم مناسب برای حل یک مسئله هوش مصنوعی مؤثر هستند؟
9. هوش مصنوعی در چه حوزه‌هایی از علوم کامپیوتر بیشترین کاربرد را دارد؟
10. هوش مصنوعی چگونه می‌تواند در مهندسی نرم‌افزار و فرایند توسعه نرم‌افزار مورد استفاده قرار گیرد؟
11. کاربرد هوش مصنوعی در امنیت سایبری چگونه می‌تواند به شناسایی و تحلیل تهدیدها کمک کند؟
12. هوش مصنوعی چه کاربردهایی در پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک و اینترنت اشیا دارد؟
13. مهم‌ترین چالش‌ها و محدودیت‌های فنی و اخلاقی استفاده از هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر چیست؟
14. روندهای آینده هوش مصنوعی چه تأثیری بر توسعه علوم کامپیوتر و فناوری‌های وابسته خواهد داشت؟

#### ۱-۵-۱ پرسش اصلی

پرسش اصلی این پژوهش با توجه به هدف کلی تحقیق، بررسی جامع هوش مصنوعی و شناخت روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر است. با توجه به توسعه سریع سامانه‌های هوش مصنوعی، تنوع روش‌های یادگیری و گسترش مدل‌های جدید، شناخت تفاوت میان روش‌ها و تعیین زمینه مناسب استفاده از هر یک اهمیت زیادی دارد. هوش مصنوعی شامل سامانه‌هایی است که بر اساس اهداف مشخص و با دریافت ورودی، می‌توانند خروجی‌هایی مانند پیش‌بینی، تولید محتوا، ارائه پیشنهاد یا تصمیم ایجاد کنند و میزان خودمختاری و سازگاری آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد [1]. همچنین رشد چشمگیر پژوهش‌ها و مدل‌های هوش مصنوعی، ضرورت شناخت منظم این حوزه را افزایش داده است؛ به‌طوری که

طبق گزارش Stanford AI Index، تعداد انتشارات مرتبط با AI در حوزه‌های علوم کامپیوتر و سایر علوم از حدود ۱۰۲ هزار مورد در سال ۲۰۱۳ به بیش از ۲۴۲ هزار مورد در سال ۲۰۲۳ رسیده است. [2]

بر این اساس، پرسش اصلی پژوهش به صورت زیر مطرح می‌شود:

هوش مصنوعی، روش‌ها و الگوریتم‌های اصلی آن چه ویژگی‌ها، قابلیت‌ها و محدودیت‌هایی دارند و چگونه می‌توان از آن‌ها در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر استفاده کرد؟

## ۲-۵-۱ پرسش‌های فرعی

با توجه به پرسش اصلی پژوهش و برای بررسی دقیق‌تر ابعاد مختلف موضوع، پرسش‌های فرعی زیر مطرح می‌شوند:

1. هوش مصنوعی چیست و چه مفاهیم و مبانی اصلی را شامل می‌شود؟
2. هوش مصنوعی از زمان شکل‌گیری تا توسعه روش‌های نوین یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و هوش مصنوعی مولد چه روندی را طی کرده است؟
3. مهم‌ترین روش‌های یادگیری ماشین شامل یادگیری نظارت‌شده، بدون نظارت، نیمه‌نظارتی و تقویتی چه ویژگی‌هایی دارند؟
4. مهم‌ترین الگوریتم‌های هوش مصنوعی کدام‌اند و هر یک چه مزایا، محدودیت‌ها و کاربردهایی دارند؟
5. چه عواملی در انتخاب الگوریتم مناسب برای حل مسائل مختلف علوم کامپیوتر تأثیرگذار هستند؟
6. شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق چه نقشی در توسعه سامانه‌های هوشمند دارند؟
7. معماری‌های نوین یادگیری عمیق و مدل‌های مبتنی بر Transformer چه تأثیری بر توسعه کاربردهای هوش مصنوعی داشته‌اند؟ OECD نیز Transformer را در توسعه برخی مدل‌های مهم هوش مصنوعی از جمله مدل‌های زبانی و سایر سامانه‌های پیشرفته مورد توجه قرار داده است [3].
8. هوش مصنوعی مولد چیست و چه قابلیت‌هایی در زمینه تولید متن، تصویر، کد و سایر محتواها دارد؟
9. مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر کدام‌اند؟
10. هوش مصنوعی چگونه می‌تواند در مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک و اینترنت اشیا مورد استفاده قرار گیرد؟

11. مهم‌ترین چالش‌های فنی، امنیتی و اخلاقی استفاده از هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر چیست؟

12. با توجه به روند توسعه فناوری‌های هوش مصنوعی، مهم‌ترین زمینه‌های قابل بررسی برای تحقیقات آینده کدام‌اند؟

## ۶-۱ محدود و قلمرو تحقیق

هر پژوهش علمی برای جلوگیری از گسترده شدن بیش از حد موضوع و ایجاد تمرکز در فرایند بررسی، نیازمند تعیین محدوده و قلمرو مشخص است. موضوع هوش مصنوعی به دلیل گستردگی بسیار زیاد و ارتباط با حوزه‌های مختلف علوم، مهندسی، اقتصاد، پزشکی، صنعت و علوم اجتماعی، نمی‌تواند در یک پژوهش محدود به صورت نامحدود بررسی شود. بنابراین، در پژوهش حاضر محدوده تحقیق به گونه‌ای تعیین شده است که تمرکز اصلی بر مفاهیم، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر باشد. این محدوده شامل بررسی مبانی هوش مصنوعی، روش‌های اصلی یادگیری ماشین، الگوریتم‌های مهم، یادگیری عمیق، مدل‌های مولد و کاربردهای مرتبط با حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر است. گسترش سریع پژوهش‌های هوش مصنوعی نیز ضرورت تعیین این محدوده را بیشتر می‌کند. گزارش Stanford AI Index نشان می‌دهد که پژوهش و توسعه هوش مصنوعی با سرعت زیادی در حال گسترش است و هم‌زمان تعداد مدل‌ها، میزان محاسبات موردنیاز و کاربردهای این فناوری افزایش یافته است [2]. از این رو، تعیین قلمرو پژوهش کمک می‌کند مطالب انتخاب‌شده با اهداف تحقیق هماهنگ باشند و از ورود گسترده به موضوعاتی که ارتباط مستقیمی با هدف اصلی ندارند جلوگیری شود.

### ۶-۱-۱ قلمرو موضوعی

قلمرو موضوعی پژوهش حاضر، بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر است. در این قلمرو، ابتدا مفهوم و مبانی هوش مصنوعی مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس روش‌های اصلی یادگیری ماشین شامل یادگیری نظارت‌شده، یادگیری بدون نظارت، یادگیری نیمه‌نظارتی و یادگیری تقویتی بررسی می‌شوند. پس از آن، الگوریتم‌های مهم و پرکاربرد از جمله درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، K-Means، روش‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مورد توجه قرار می‌گیرند. در ادامه، یادگیری عمیق و معماری‌های مهم شبکه‌های عصبی و همچنین مدل‌های مبتنی بر Transformer و هوش مصنوعی مولد بررسی می‌شوند. هوش مصنوعی مولد به دلیل توانایی تولید محتوا و گسترش کاربردهای مدل‌های پیشرفته، یکی از بخش‌های مهم قلمرو موضوعی پژوهش حاضر محسوب می‌شود [1]. در بخش کاربردها نیز تمرکز بر زمینه‌های مرتبط با علوم کامپیوتر، از جمله مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، اینترنت اشیا، سیستم‌های توصیه‌گر و تحلیل داده خواهد بود. همچنین مزایا، محدودیت‌ها و چالش‌های استفاده از روش‌های هوش مصنوعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. موضوعاتی مانند کیفیت داده، پیچیدگی محاسباتی، امنیت، حریم خصوصی، سوگیری و قابلیت اعتماد مدل‌ها در این محدوده قرار دارند. در مقابل، حوزه‌هایی مانند کاربردهای تخصصی

هوش مصنوعی در پزشکی، کشاورزی، اقتصاد یا علوم اجتماعی تنها در صورتی مطرح می‌شوند که ارتباط مستقیمی با مباحث علوم کامپیوتر داشته باشند و بررسی تخصصی آن‌ها خارج از قلمرو اصلی این پژوهش است.

## ۲-۶-۱ قلمرو علمی

قلمرو علمی پژوهش در حوزه علوم کامپیوتر و فناوری اطلاعات تعریف می‌شود و تمرکز آن بر جنبه‌های محاسباتی، الگوریتمی و فناورانه هوش مصنوعی است. از این منظر، پژوهش به بررسی نحوه عملکرد روش‌های هوشمند، ساختار الگوریتم‌ها، شیوه یادگیری مدل‌ها، انواع داده‌های مورد استفاده، معیارهای ارزیابی و زمینه‌های کاربرد آن‌ها می‌پردازد. در این قلمرو، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به عنوان دو بخش اصلی مورد توجه قرار می‌گیرند و الگوریتم‌های متداول از نظر عملکرد، مزایا، محدودیت‌ها و کاربرد مقایسه می‌شوند. همچنین پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین و هوش مصنوعی مولد به عنوان حوزه‌های مهم کاربردی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. اهمیت این قلمرو با رشد جایگاه AI در پژوهش‌های علوم کامپیوتر نیز قابل مشاهده است؛ طبق AI Index، سهم انتشارات مرتبط با هوش مصنوعی از کل انتشارات علوم کامپیوتر از ۲۱/۶ درصد در سال ۲۰۱۳ به ۴۱/۸ درصد در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است [2]. از نظر علمی، این پژوهش در مرز میان هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری و پردازش داده قرار می‌گیرد. بنابراین، تمرکز تحقیق بر مباحثی است که به شناخت و استفاده از روش‌های محاسباتی هوشمند کمک می‌کنند و وارد مباحث تخصصی سایر رشته‌ها به صورت مستقل نمی‌شود.

## ۳-۶-۱ قلمرو مطالعاتی

قلمرو مطالعاتی پژوهش حاضر بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی منابع علمی معتبر تعیین شده است. منابع مورد استفاده شامل مقالات علمی، گزارش‌های پژوهشی، کتاب‌ها، اسناد و گزارش‌های رسمی سازمان‌های علمی و فناوری و منابع علمی معتبر مرتبط با هوش مصنوعی است. در انتخاب منابع تلاش می‌شود منابع جدید و معتبر، به ویژه پژوهش‌های منتشر شده در سال‌های اخیر، در کنار منابع بنیادی و مرجع مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به سرعت بالای تحول هوش مصنوعی، بخش عمده مطالعات جدید پژوهش بر منابع منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ متمرکز خواهد بود. در کنار این منابع، برای توضیح مفاهیم بنیادی یا نظریه‌هایی که منشأ آن‌ها به سال‌های قبل بازمی‌گردد، استفاده از منابع قدیمی‌تر و معتبر علمی نیز ضروری است. به این ترتیب، قلمرو مطالعاتی پژوهش هم تحولات جدید هوش مصنوعی را پوشش می‌دهد و هم مبانی نظری مورد نیاز را حفظ می‌کند. از نظر محتوایی، مطالعات انجام شده در سه محور اصلی دسته‌بندی می‌شوند: مبانی و مفاهیم هوش مصنوعی، روش‌ها و الگوریتم‌ها، و کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر. در محور نخست، تعاریف، تاریخچه و شاخه‌های اصلی بررسی می‌شوند؛ در محور دوم، روش‌های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی و مدل‌های مولد مورد بررسی قرار می‌گیرند؛ و در محور سوم، کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه‌هایی مانند مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین و سایر زمینه‌های مرتبط با علوم کامپیوتر تحلیل می‌شوند.

توجه به تغییر سریع فناوری، منابع جدیدتر در بخش‌هایی مانند هوش مصنوعی مولد، مدل‌های زبانی بزرگ و معماری‌های نوین اهمیت بیشتری دارند. گزارش AI Index 2025 نیز نشان می‌دهد که هم تعداد مدل‌های قابل توجه هوش مصنوعی و هم میزان سرمایه‌گذاری و فعالیت پژوهشی در این حوزه به سرعت در حال افزایش است [2]. بنابراین، قلمرو مطالعاتی پژوهش به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که ضمن اتکا به مبانی علمی، بتواند تحولات جدید این حوزه را نیز پوشش دهد.

## ۷-۱ روش کلی تحقیق

پژوهش حاضر با هدف بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر با رویکرد توصیفی - تحلیلی و بر پایه مطالعات کتابخانه‌ای انجام شده است. با توجه به ماهیت موضوع، در این پژوهش آزمایش یا پیاده‌سازی نرم‌افزاری به عنوان بخش اصلی تحقیق در نظر گرفته نشده و تمرکز اصلی بر گردآوری، بررسی، دسته‌بندی، مقایسه و تحلیل اطلاعات علمی مرتبط با هوش مصنوعی است. در این روش، ابتدا منابع علمی معتبر مرتبط با موضوع شناسایی و گردآوری شده و سپس اطلاعات موردنیاز از میان منابع استخراج و بر اساس محورهای اصلی پژوهش دسته‌بندی می‌شوند. در مرحله نخست، مفاهیم بنیادی و تعاریف مرتبط با هوش مصنوعی بررسی می‌شود. سپس تاریخچه تحول این حوزه و حرکت آن از سیستم‌های مبتنی بر قواعد به سمت یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و مدل‌های مولد مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پس از آن، روش‌های اصلی یادگیری ماشین شامل یادگیری نظارت‌شده، بدون نظارت، نیمه‌نظارتی و تقویتی بررسی می‌شوند و الگوریتم‌های پرکاربرد هر گروه از نظر نحوه عملکرد و زمینه کاربرد مورد توجه قرار می‌گیرند. طبقه‌بندی این روش‌ها امکان ایجاد یک چارچوب منظم برای مقایسه الگوریتم‌های مختلف را فراهم می‌کند. [4] در مرحله بعد، الگوریتم‌های مهم هوش مصنوعی از جنبه‌هایی مانند نوع مسئله، نوع داده، دقت، پیچیدگی محاسباتی، میزان داده موردنیاز، قابلیت تفسیر و حوزه کاربرد مورد بررسی قرار می‌گیرند. هدف از این مقایسه، تعیین یک الگوریتم واحد به عنوان بهترین روش نیست؛ بلکه تلاش می‌شود مشخص شود که هر الگوریتم در چه شرایطی می‌تواند عملکرد مناسب‌تری داشته باشد. این موضوع اهمیت زیادی دارد، زیرا عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین تحت تأثیر عواملی مانند داده، ویژگی‌های مسئله، روش آموزش و معیار ارزیابی قرار می‌گیرد. در ادامه، یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان بخش مهمی از تحولات هوش مصنوعی بررسی می‌شوند. ساختار شبکه‌های عصبی، لایه‌های مختلف، فرایند آموزش و معماری‌های پرکاربرد مانند CNN، RNN، LSTM و Transformer مورد مطالعه قرار می‌گیرند. همچنین هوش مصنوعی مولد و مدل‌های جدید مبتنی بر یادگیری عمیق از نظر قابلیت تولید متن، تصویر، کد و سایر انواع محتوا بررسی خواهند شد. گزارش‌های جدید حوزه هوش مصنوعی نشان می‌دهند که توسعه مدل‌های پیشرفته و افزایش توانایی آن‌ها در انجام وظایف مختلف، یکی از روندهای مهم سال‌های اخیر بوده است. [2] در مرحله نهایی، کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر بررسی و دسته‌بندی می‌شوند. مهم‌ترین این کاربردها شامل مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، اینترنت اشیا، سیستم‌های توصیه‌گر و تحلیل داده است. سپس یافته‌های

به دست آمده از مطالعات مختلف با یکدیگر مقایسه شده و مزایا، محدودیت‌ها، چالش‌ها و زمینه‌های توسعه آینده هوش مصنوعی مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

به‌طور کلی، فرایند تحقیق را می‌توان در قالب مراحل زیر خلاصه کرد:

انتخاب موضوع و تعیین اهداف ← جست‌وجو و گردآوری منابع ← مطالعه و استخراج اطلاعات  
← دسته‌بندی روش‌ها و الگوریتم‌ها ← مقایسه و تحلیل ← بررسی کاربردها و چالش‌ها ← جمع‌بندی یافته‌ها و ارائه پیشنهادها

## ۸-۱ نوآوری و جنبه‌های متمایز تحقیق

با توجه به ماهیت مروری و تحلیلی پژوهش حاضر، نوآوری آن به معنای ارائه یک الگوریتم جدید یا توسعه یک مدل محاسباتی جدید نیست؛ بلکه جنبه متمایز پژوهش در تجمیع، سازمان‌دهی، مقایسه و تحلیل یکپارچه روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر است. از آنجا که هوش مصنوعی حوزه‌ای بسیار گسترده است و روش‌های مختلف آن در منابع علمی به‌صورت تخصصی و جداگانه بررسی می‌شوند، ایجاد یک چارچوب منظم برای شناخت ارتباط میان این روش‌ها می‌تواند به درک بهتر موضوع کمک کند. یکی از جنبه‌های متمایز پژوهش حاضر، بررسی هوش مصنوعی در چند سطح مرتبط با یکدیگر است. در سطح نخست، مفاهیم بنیادی و شاخه‌های اصلی هوش مصنوعی بررسی می‌شوند. در سطح دوم، روش‌های یادگیری ماشین و الگوریتم‌های مهم مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در سطح سوم، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی و مدل‌های پیشرفته مورد بررسی قرار می‌گیرند و در سطح چهارم، کاربرد این فناوری‌ها در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر تحلیل می‌شود. این ساختار باعث می‌شود پژوهش تنها به معرفی الگوریتم‌ها محدود نشود و ارتباط میان روش‌ها و کاربردهای آن‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد. جنبه متمایز دیگر، توجه هم‌زمان به مزایا و محدودیت‌های الگوریتم‌ها است. در بسیاری از مطالعات، تمرکز اصلی بر قابلیت‌های یک روش خاص قرار دارد؛ در حالی که انتخاب صحیح الگوریتم نیازمند بررسی عواملی مانند دقت، سرعت، پیچیدگی، میزان داده موردنیاز، تفسیرپذیری و منابع محاسباتی است. در این پژوهش تلاش می‌شود این عوامل در کنار یکدیگر بررسی شوند تا تصویری متعادل‌تر از قابلیت‌های الگوریتم‌های هوش مصنوعی ارائه شود. همچنین توجه به یادگیری عمیق و هوش مصنوعی مولد از جنبه‌های به‌روز پژوهش حاضر محسوب می‌شود. توسعه مدل‌های مولد و مدل‌های زبانی بزرگ موجب تغییر بسیاری از کاربردهای سنتی هوش مصنوعی شده است و بررسی این تحولات در کنار الگوریتم‌های کلاسیک یادگیری ماشین می‌تواند دیدگاه جامع‌تری نسبت به روند توسعه این حوزه فراهم کند. [2] از سوی دیگر، پژوهش حاضر علاوه بر مزایای فنی هوش مصنوعی، به چالش‌هایی مانند امنیت، حریم خصوصی، سوگیری، شفافیت و قابلیت اعتماد نیز توجه دارد. چارچوب NIST AI RMF نیز بر مدیریت ریسک و توسعه سامانه‌های هوش مصنوعی قابل اعتماد تأکید دارد [3]. بنابراین، یکی از جنبه‌های متمایز تحقیق، نگاه هم‌زمان فنی، کاربردی و چالش‌محور به هوش مصنوعی است.

## ۹-۱ کاربردهای مورد انتظار تحقیق

انتظار می‌رود نتایج این پژوهش بتواند یک دیدگاه منظم و قابل استفاده درباره هوش مصنوعی، روش‌ها و الگوریتم‌های آن در اختیار دانشجویان، پژوهشگران و علاقه‌مندان حوزه علوم کامپیوتر قرار دهد. نخستین کاربرد مورد انتظار، ایجاد یک مرجع خلاصه و منسجم برای شناخت مفاهیم و روش‌های اصلی هوش مصنوعی است. به دلیل گستردگی این حوزه، شناخت تفاوت میان روش‌های مختلف می‌تواند به درک بهتر مباحث تخصصی و انتخاب مسیر مطالعاتی مناسب کمک کند. یکی دیگر از کاربردهای مورد انتظار، کمک به انتخاب روش یا الگوریتم مناسب برای مسائل مختلف است. با توجه به اینکه الگوریتم‌های مختلف از نظر دقت، پیچیدگی، سرعت و نیاز به داده با یکدیگر تفاوت دارند، نتایج مقایسه‌ای این پژوهش می‌تواند به عنوان یک چارچوب اولیه برای تصمیم‌گیری درباره انتخاب روش مناسب مورد استفاده قرار گیرد. نتایج تحقیق همچنین می‌تواند برای دانشجویان علوم کامپیوتر در زمینه شناخت کاربردهای هوش مصنوعی در مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک و اینترنت اشیا مفید باشد. این شناخت می‌تواند زمینه انتخاب موضوعات پژوهشی آینده و طراحی پروژه‌های مرتبط با هوش مصنوعی را فراهم کند. از نظر آموزشی، پژوهش حاضر می‌تواند به عنوان یک منبع مقدماتی برای آشنایی با تفاوت میان هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و هوش مصنوعی مولد مورد استفاده قرار گیرد. همچنین دسته‌بندی الگوریتم‌ها و ارائه مقایسه میان آن‌ها می‌تواند درک ارتباط میان مباحث نظری و کاربردهای عملی را افزایش دهد. از نظر پژوهشی نیز نتایج این تحقیق می‌تواند زمینه‌ای برای مطالعات آینده در زمینه توسعه الگوریتم‌های دقیق‌تر، مدل‌های کم‌هزینه‌تر، روش‌های قابل توضیح، امنیت مدل‌های هوش مصنوعی و حفاظت از داده‌های کاربران فراهم کند. توجه به این موضوعات به‌ویژه با افزایش استفاده از سامانه‌های هوش مصنوعی اهمیت بیشتری پیدا کرده است. [3]

## ۱۰-۱ تعریف واژه‌ها و مفاهیم کلیدی

در این پژوهش، تعدادی از اصطلاحات تخصصی به صورت مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که برخی از این اصطلاحات دارای تعاریف مختلف هستند، در این بخش مفهوم مورد استفاده از هر واژه در چارچوب پژوهش حاضر مشخص می‌شود. تعریف دقیق اصطلاحات موجب می‌شود مفاهیم مورد بررسی در فصل‌های بعدی با معنای یکسان مورد استفاده قرار گیرند.

### ۱-۱۰-۱ هوش مصنوعی

هوش مصنوعی یا Artificial Intelligence (AI) به حوزه‌ای از علوم کامپیوتر و فناوری گفته می‌شود که به طراحی و توسعه سامانه‌هایی می‌پردازد که قادرند بر اساس ورودی‌ها و اهداف مشخص، خروجی‌هایی مانند پیش‌بینی، تولید محتوا، ارائه پیشنهاد یا تصمیم‌گیری ایجاد کنند. در تعریف به‌روزشده

OECD، یک سامانه هوش مصنوعی سامانه‌ای مبتنی بر ماشین است که برای اهداف مشخص می‌تواند خروجی‌هایی مانند پیش‌بینی، محتوا، توصیه یا تصمیم تولید کند و سطوح متفاوتی از خودمختاری و سازگاری را نشان دهد. [1] هوش مصنوعی یک فناوری واحد یا یک الگوریتم خاص نیست، بلکه مجموعه‌ای از روش‌ها و فناوری‌ها را شامل می‌شود. یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین و رباتیک از جمله حوزه‌هایی هستند که در چارچوب گسترده هوش مصنوعی قرار می‌گیرند. هدف کلی این حوزه، ایجاد سامانه‌هایی است که بتوانند وظایفی را انجام دهند که به شکل‌های مختلف نیازمند پردازش اطلاعات، تشخیص الگو، پیش‌بینی، استدلال یا تصمیم‌گیری هستند.

## ۲-۱۰-۱ یادگیری ماشین

یادگیری ماشین یا Machine Learning (ML) یکی از شاخه‌های اصلی هوش مصنوعی است که در آن الگوریتم‌ها و مدل‌های محاسباتی با استفاده از داده‌ها الگوها و روابط موجود را یاد می‌گیرند و از این اطلاعات برای انجام وظایفی مانند پیش‌بینی، طبقه‌بندی یا تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند. در این رویکرد، به جای آنکه تمامی قواعد حل مسئله به صورت دستی در برنامه تعریف شوند، مدل از داده‌های آموزشی برای ایجاد یک الگوی محاسباتی استفاده می‌کند. روش‌های یادگیری ماشین را می‌توان به گروه‌هایی مانند یادگیری نظارت‌شده، یادگیری بدون نظارت، یادگیری نیمه‌نظارتی و یادگیری تقویتی تقسیم کرد. در یادگیری نظارت‌شده، مدل با استفاده از داده‌های دارای برچسب آموزش داده می‌شود؛ در یادگیری بدون نظارت، هدف اصلی شناسایی ساختار یا الگو در داده‌های بدون برچسب است؛ و در یادگیری تقویتی، عامل با دریافت بازخورد از محیط و بر اساس پاداش یا جریمه، رفتار مناسب را یاد می‌گیرد.

## ۳-۱۰-۱ یادگیری عمیق

یادگیری عمیق یا Deep Learning (DL) زیرمجموعه‌ای از یادگیری ماشین است که عمدتاً بر استفاده از شبکه‌های عصبی چندلایه برای یادگیری الگوهای پیچیده از داده‌ها تمرکز دارد. در این روش، لایه‌های متعدد شبکه عصبی می‌توانند نمایش‌های مختلفی از داده را در سطوح متفاوت یاد بگیرند و به همین دلیل یادگیری عمیق در پردازش داده‌هایی مانند تصویر، صوت، متن و ویدئو کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. یکی از ویژگی‌های مهم یادگیری عمیق، توانایی آن در یادگیری نمایش‌های پیچیده از داده‌هاست. معماری‌های مختلفی برای مسائل متفاوت توسعه یافته‌اند؛ برای نمونه، شبکه‌های عصبی پیچشی یا CNN در بسیاری از مسائل بینایی ماشین، شبکه‌های بازگشتی مانند RNN و LSTM در برخی مسائل داده‌های ترتیبی، و معماری Transformer در بسیاری از وظایف پردازش زبان و مدل‌های مولد مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

شبکه عصبی مصنوعی یا Artificial Neural Network (ANN) یک مدل محاسباتی الهام گرفته از ساختار کلی شبکه‌های عصبی زیستی است که از مجموعه‌ای از واحدهای محاسباتی یا نورون‌های مصنوعی تشکیل می‌شود. این نورون‌ها معمولاً در قالب لایه‌های ورودی، یک یا چند لایه میانی و لایه خروجی سازمان‌دهی می‌شوند. هر اتصال دارای وزن است و در فرایند آموزش، وزن‌های مدل به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که خطای خروجی کاهش پیدا کند. شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند برای مسائل مختلفی مانند طبقه‌بندی، رگرسیون، تشخیص الگو و پیش‌بینی استفاده شوند. زمانی که تعداد لایه‌های شبکه و پیچیدگی مدل افزایش پیدا می‌کند، ساختار آن در حوزه یادگیری عمیق قرار می‌گیرد. شبکه‌های عصبی پایه بسیاری از معماری‌های مدرن یادگیری عمیق را تشکیل می‌دهند و در توسعه مدل‌های پیشرفته هوش مصنوعی نقش مهمی دارند.

#### ۵-۱۰-۱ الگوریتم

الگوریتم مجموعه‌ای مشخص و منظم از مراحل و دستورالعمل‌ها برای حل یک مسئله یا انجام یک فرایند محاسباتی است. در علوم کامپیوتر، الگوریتم مشخص می‌کند که یک مسئله چگونه باید به مراحل قابل اجرا تقسیم شود و ورودی‌ها چگونه به خروجی موردنظر تبدیل شوند. در حوزه هوش مصنوعی، الگوریتم‌ها نقش اساسی در پردازش داده، یادگیری الگوها، بهینه‌سازی مدل‌ها و تصمیم‌گیری دارند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند Decision Tree، Random Forest، Support Vector Machine و K-Means هر کدام روش متفاوتی برای استخراج الگو یا ساخت مدل ارائه می‌کنند. انتخاب الگوریتم مناسب به عواملی مانند ماهیت مسئله، نوع و حجم داده، دقت موردنیاز، پیچیدگی محاسباتی و منابع موجود بستگی دارد.

#### ۶-۱۰-۱ پردازش زبان طبیعی

پردازش زبان طبیعی یا Natural Language Processing (NLP) یکی از شاخه‌های مهم هوش مصنوعی است که به طراحی روش‌ها و سامانه‌های محاسباتی برای پردازش، تحلیل و تولید زبان انسانی می‌پردازد. هدف اصلی پردازش زبان طبیعی، ایجاد امکان تعامل مؤثر میان انسان و رایانه از طریق زبان طبیعی و تبدیل داده‌های زبانی به اطلاعات قابل پردازش توسط سیستم‌های رایانه‌ای است. این حوزه از روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق برای انجام وظایفی مانند طبقه‌بندی متن، تحلیل احساسات، ترجمه ماشینی، خلاصه‌سازی، پاسخ‌گویی به پرسش‌ها و تولید متن استفاده می‌کند. [9] با توسعه مدل‌های زبانی بزرگ و معماری‌های مبتنی بر Transformer، توانایی سامانه‌های پردازش زبان طبیعی در درک و تولید متن به شکل قابل توجهی افزایش یافته است. این مدل‌ها می‌توانند الگوهای پیچیده موجود در زبان را از حجم زیادی از داده‌های متنی یاد بگیرند و در انجام وظایف متنوع زبانی مورد استفاده قرار گیرند [10]. بنابراین، پردازش زبان طبیعی یکی از زمینه‌های مهم کاربرد هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر محسوب می‌شود.

بینایی ماشین یا Computer Vision (CV) یکی از حوزه‌های هوش مصنوعی است که به توسعه روش‌ها و سامانه‌هایی برای دریافت، پردازش و تفسیر اطلاعات موجود در تصاویر و ویدئوها می‌پردازد. هدف این حوزه، استخراج اطلاعات معنادار از داده‌های بصری و استفاده از آن‌ها برای تشخیص، طبقه‌بندی، شناسایی یا تصمیم‌گیری است. بینایی ماشین در مسائل مختلفی مانند تشخیص اشیا، طبقه‌بندی تصاویر، تشخیص چهره، بخش‌بندی تصویر، تحلیل ویدئو و تشخیص الگو کاربرد دارد. در سال‌های اخیر، استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق و مدل‌های پیشرفته بینایی باعث افزایش قابلیت سامانه‌های بینایی ماشین شده است. مدل‌های یادگیری عمیق می‌توانند ویژگی‌های پیچیده موجود در تصاویر را به‌صورت خودکار از داده‌های آموزشی استخراج کنند و در بسیاری از مسائل عملکرد بالایی داشته باشند. [11] در علوم کامپیوتر، بینایی ماشین علاوه بر کاربردهای مستقل، با حوزه‌هایی مانند رباتیک، واقعیت افزوده، امنیت، خودروهای خودران و سامانه‌های هوشمند ارتباط دارد و یکی از زمینه‌های مهم توسعه کاربردهای هوش مصنوعی به شمار می‌رود.

هوش مصنوعی مولد یا Generative Artificial Intelligence (Generative AI) به دسته‌ای از سامانه‌های هوش مصنوعی گفته می‌شود که قادرند بر اساس داده‌ها و الگوهای آموخته‌شده، محتوای جدید تولید کنند. این محتوا می‌تواند شامل متن، تصویر، صوت، ویدئو، کد نرم‌افزاری و سایر انواع داده‌های دیجیتال باشد. [12] هوش مصنوعی مولد عمدتاً بر پایه مدل‌های یادگیری عمیق و معماری‌های پیشرفته توسعه یافته است. مدل‌های زبانی بزرگ، مدل‌های انتشاردهنده و برخی معماری‌های مولد از جمله فناوری‌هایی هستند که در این حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرند. تفاوت مهم هوش مصنوعی مولد با بسیاری از سامانه‌های سنتی هوش مصنوعی در این است که هدف آن تنها طبقه‌بندی یا پیش‌بینی داده‌های موجود نیست، بلکه می‌تواند محتوای جدیدی را بر اساس الگوهای یادگرفته‌شده ایجاد کند. در علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی مولد کاربردهایی مانند تولید و تکمیل کد، تولید متن، تولید تصویر، کمک به توسعه نرم‌افزار، خلاصه‌سازی اطلاعات، تولید داده مصنوعی و پشتیبانی از فرایندهای خلاقانه دارد. توسعه سریع این فناوری در سال‌های اخیر، آن را به یکی از مهم‌ترین موضوعات پژوهشی در حوزه هوش مصنوعی تبدیل کرده است [12].

مدل زبانی بزرگ یا Large Language Model (LLM) نوعی مدل هوش مصنوعی است که با استفاده از حجم بسیار زیادی از داده‌های متنی آموزش داده می‌شود و توانایی پردازش و تولید زبان طبیعی را دارد. این مدل‌ها معمولاً دارای تعداد زیادی پارامتر هستند و با استفاده از معماری‌های پیشرفته یادگیری عمیق، به‌ویژه معماری Transformer، آموزش داده می‌شوند. [10] مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند وظایفی مانند تولید متن، پاسخ‌گویی به پرسش‌ها، خلاصه‌سازی، ترجمه، استخراج اطلاعات، تولید و توضیح کد و گفت‌وگوی تعاملی را انجام دهند. یکی از ویژگی‌های مهم این مدل‌ها، توانایی استفاده از دانش و الگوهایی است که در مرحله آموزش از داده‌های گسترده یاد گرفته‌اند. با وجود قابلیت‌های گسترده، مدل‌های زبانی بزرگ دارای محدودیت‌هایی نیز هستند. تولید اطلاعات نادرست، وابستگی به کیفیت داده‌های آموزشی، مسائل مربوط به سوگیری، حریم خصوصی، امنیت و هزینه بالای محاسباتی از جمله چالش‌های مرتبط با استفاده از این مدل‌ها هستند [13]. به همین دلیل، استفاده قابل اعتماد از مدل‌های زبانی بزرگ نیازمند توجه هم‌زمان به عملکرد فنی و مدیریت ریسک است.

## ۱-۱۱ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه حاضر با هدف بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر در پنج فصل تنظیم شده است. ساختار پنج‌فصلی پژوهش مطابق شیوه‌نامه دانشگاه تنظیم شده و هر فصل به یکی از مراحل اصلی پژوهش اختصاص دارد.

### فصل اول: مقدمه

در فصل اول، کلیات پژوهش ارائه می‌شود. این فصل شامل مقدمه، بیان مسئله، اهمیت و ضرورت تحقیق، اهداف اصلی و فرعی، پرسش‌های تحقیق، محدوده و قلمرو پژوهش، روش کلی تحقیق، نوآوری و جنبه‌های متمایز پژوهش، کاربردهای مورد انتظار، تعریف واژه‌ها و مفاهیم کلیدی و در نهایت ساختار پایان‌نامه است. در بخش مفاهیم کلیدی نیز اصطلاحاتی مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، هوش مصنوعی مولد و مدل زبانی بزرگ تعریف می‌شوند.

### فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام‌شده

در فصل دوم، مبانی نظری و پیشینه پژوهش بررسی می‌شود. ابتدا تاریخچه و روند تحول هوش مصنوعی و سپس شاخه‌های اصلی آن مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه، روش‌های یادگیری ماشین، الگوریتم‌های مهم، شبکه‌های عصبی، یادگیری عمیق، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، هوش مصنوعی مولد و مدل‌های زبانی بزرگ بررسی خواهند شد. همچنین پژوهش‌های انجام‌شده در داخل و خارج کشور مرور و مقایسه می‌شوند و در پایان، جمع‌بندی مطالعات پیشین و جایگاه پژوهش حاضر ارائه خواهد شد.

## فصل سوم: روش تحقیق

فصل سوم به روش انجام پژوهش اختصاص دارد. در این فصل، رویکرد پژوهش، روش گردآوری اطلاعات، جامعه منابع مورد بررسی، معیار انتخاب منابع، روش دسته‌بندی اطلاعات و شیوه تحلیل و مقایسه مطالعات بیان می‌شود. همچنین چارچوب تحلیلی مورد استفاده برای مقایسه روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی ارائه خواهد شد.

## فصل چهارم: نتایج

در فصل چهارم، یافته‌های حاصل از بررسی و تحلیل منابع ارائه می‌شود. مهم‌ترین الگوریتم‌ها و روش‌های هوش مصنوعی از جنبه‌هایی مانند نوع مسئله، مزایا، محدودیت‌ها، دقت، پیچیدگی و کاربرد مقایسه می‌شوند. همچنین کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر بررسی شده و نتایج به‌صورت جدول‌ها، نمودارها و تحلیل‌های مقایسه‌ای ارائه خواهد شد.

## فصل پنجم: بحث و ارائه پیشنهادات

فصل پنجم به جمع‌بندی و تحلیل نهایی یافته‌های پژوهش اختصاص دارد. در این فصل، مهم‌ترین نتایج حاصل از تحقیق مرور شده، به پرسش‌های پژوهش پاسخ داده می‌شود و نقاط قوت و محدودیت‌های روش‌ها و الگوریتم‌های بررسی‌شده مورد بحث قرار می‌گیرند. در پایان نیز پیشنهادهایی برای مطالعات آینده، توسعه کاربردهای هوش مصنوعی، افزایش قابلیت اعتماد مدل‌ها و بررسی فناوری‌های نوین ارائه خواهد شد.

## فصل دوم : ادبیات و پیشینه تحقیق

## 2.1 مقدمه

هوش مصنوعی یکی از مهم‌ترین حوزه‌های علوم کامپیوتر است که طی چند دهه گذشته مسیر تحول گسترده‌ای را پشت سر گذاشته است. این حوزه در ابتدا بیشتر بر ایجاد سیستم‌های مبتنی بر قواعد، منطق و نمادهای قابل پردازش توسط رایانه تمرکز داشت، اما به تدریج با پیشرفت توان پردازشی، افزایش حجم داده‌ها و توسعه روش‌های یادگیری ماشین، رویکردهای داده‌محور جایگاه بیشتری پیدا کردند. در سال‌های اخیر نیز یادگیری عمیق، مدل‌های بنیادین، مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی مولد به بخش مهمی از روند توسعه این حوزه تبدیل شده‌اند [4]. مطالعه تاریخیچه هوش مصنوعی تنها بررسی مجموعه‌ای از رویدادهای تاریخی نیست، بلکه نشان‌دهنده تغییر تدریجی رویکردهای علمی و فنی در حل مسائل هوشمند است. بررسی این روند نشان می‌دهد که توسعه هوش مصنوعی همواره خطی و یکنواخت نبوده و دوره‌هایی از پیشرفت سریع، افزایش انتظارات، کاهش سرمایه‌گذاری و سپس شکل‌گیری دوباره موج‌های جدید توسعه را تجربه کرده است. به همین دلیل، شناخت مسیر تاریخی هوش مصنوعی می‌تواند به درک بهتر جایگاه روش‌ها و الگوریتم‌های امروزی کمک کند [4]. در این فصل، ابتدا تاریخیچه و روند تحول هوش مصنوعی بررسی می‌شود و سپس در ادامه فصل، مبانی نظری، روش‌ها، الگوریتم‌ها، مطالعات پیشین و کاربردهای مهم این فناوری در علوم کامپیوتر مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

## ۲-۲ تاریخیچه و روند تحول هوش مصنوعی

تاریخیچه هوش مصنوعی ریشه در تلاش‌های علمی برای ساخت ماشین‌هایی دارد که بتوانند برخی قابلیت‌های مرتبط با تفکر، حل مسئله و تصمیم‌گیری را انجام دهند. اگرچه ایده ساخت ماشین‌های هوشمند پیش از پیدایش رایانه‌های مدرن نیز مطرح بوده است، شکل‌گیری علمی و نظام‌مند هوش مصنوعی به توسعه علوم کامپیوتر، منطق ریاضی، نظریه اطلاعات و محاسبات در قرن بیستم وابسته بود. یکی از نقاط مهم در تاریخ این حوزه، سال ۱۹۵۰ است که آلن تورینگ در مقاله معروف خود درباره قابلیت ماشین‌ها برای تفکر، مسئله هوشمندی ماشین را به صورت علمی مطرح کرد. او همچنین آزمونی را پیشنهاد کرد که بعدها با عنوان آزمون تورینگ شناخته شد و هدف آن بررسی توانایی ماشین در ایجاد تعامل زبانی مشابه انسان بود [4]. در سال ۱۹۵۶ نیز کارگاه تابستانی دارتموث نقطه عطف مهمی در تاریخ هوش مصنوعی محسوب شد. اصطلاح «هوش مصنوعی» در پیشنهاد برگزاری این کارگاه توسط جان مک‌کارتی و همکارانش مطرح شد و این رویداد از سوی بسیاری از منابع به عنوان نقطه آغاز رسمی حوزه هوش مصنوعی شناخته می‌شود. [4][5] پس از آن، هوش مصنوعی دوره‌های مختلفی را تجربه کرد. در دوره‌های اولیه، تمرکز بیشتر بر روش‌های نمادین، منطق و حل مسئله بود. سپس سیستم‌های خبره و روش‌های مبتنی بر دانش توسعه یافتند. در ادامه، با افزایش قدرت پردازش رایانه‌ها و دسترسی به داده‌های بزرگ، یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی اهمیت بیشتری پیدا کردند. از دهه ۲۰۱۰ نیز یادگیری عمیق موجب تحول قابل توجهی

در بسیاری از کاربردهای هوش مصنوعی شد و در سال‌های اخیر مدل‌های مولد و مدل‌های زبانی بزرگ مرحله جدیدی از توسعه این حوزه را شکل داده‌اند. [4][6]

## ۲-۲-۱ پیدایش ایده هوش مصنوعی

ایده هوش مصنوعی از یک پرسش اساسی شکل گرفت: آیا می‌توان ماشین‌هایی ساخت که بتوانند برخی فعالیت‌های مرتبط با هوش انسانی را انجام دهند؟ این پرسش با توسعه منطق، ریاضیات، نظریه محاسبات و رایانه‌های الکترونیکی به تدریج از یک بحث فلسفی به یک موضوع علمی و مهندسی تبدیل شد. در سال ۱۹۵۰، آلن تورینگ با انتشار مقاله *Computing Machinery and Intelligence* مسئله توانایی ماشین برای تفکر را به شکل مشخصی مطرح کرد. تورینگ به جای تلاش برای تعریف مستقیم واژه «تفکر»، پیشنهاد کرد توانایی ماشین از طریق یک آزمون رفتاری بررسی شود. در این آزمون، انسان با یک طرف گفت‌وگو ارتباط برقرار می‌کند و تلاش می‌کند تشخیص دهد طرف مقابل انسان است یا ماشین. این ایده بعدها به یکی از شناخته‌شده‌ترین مفاهیم تاریخ هوش مصنوعی تبدیل شد [4]. در همان دوره، تلاش‌های دیگری نیز برای استفاده از رایانه در حل مسائل و بازی‌ها شکل گرفت. این فعالیت‌ها نشان دادند که رایانه‌ها علاوه بر محاسبات عددی می‌توانند برای پردازش نمادها، جست‌وجوی فضای مسئله و تصمیم‌گیری نیز مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، زمینه علمی لازم برای شکل‌گیری هوش مصنوعی به عنوان یک حوزه مستقل به تدریج فراهم شد. پیشرفت‌های اولیه در شبکه‌های عصبی مصنوعی و برنامه‌های حل مسئله نیز نقش مهمی داشتند. برای نمونه، در دهه ۱۹۵۰ مدل‌های اولیه شبکه عصبی و برنامه‌هایی برای حل مسائل منطقی و بازی‌ها توسعه یافتند. این فعالیت‌ها دو مسیر مهم را در هوش مصنوعی ایجاد کردند: رویکرد نمادین و مبتنی بر منطق و رویکرد یادگیری و شبکه‌های عصبی [5]. بنابراین، پیدایش هوش مصنوعی نتیجه یک اختراع منفرد نبود، بلکه حاصل همگرایی چند حوزه علمی از جمله علوم کامپیوتر، ریاضیات، منطق، نظریه اطلاعات و علوم شناختی بود.

## ۲-۲-۲ شکل‌گیری حوزه هوش مصنوعی

شکل‌گیری رسمی هوش مصنوعی به عنوان یک حوزه پژوهشی مستقل معمولاً به کارگاه تابستانی دارتموث در سال ۱۹۵۶ نسبت داده می‌شود. این کارگاه با پیشنهاد جان مک‌کارتی، ماروین مینسکی، ناتانیل روچستر و کلود شانون شکل گرفت و پژوهشگرانی مانند آلن نیوول، هربرت سایمون و آرتور ساموئل نیز در توسعه جریان‌های اولیه این حوزه نقش داشتند [5]. در این دوره، پژوهشگران بر این باور بودند که بسیاری از فرایندهای مرتبط با هوش انسانی را می‌توان به شکل دقیق توصیف و در قالب برنامه‌های رایانه‌ای پیاده‌سازی کرد. در نتیجه، بخش قابل توجهی از پژوهش‌های اولیه بر منطق، نمایش دانش، جست‌وجو، حل مسئله و بازی‌های رایانه‌ای متمرکز شد. یکی از نمونه‌های مهم این دوره، توسعه برنامه‌های حل مسئله مانند Logic Theorist بود که برای حل مسائل منطقی طراحی شد. همچنین فعالیت‌های آرتور ساموئل در زمینه برنامه‌های بازی چکرز نشان داد که می‌توان از روش‌های محاسباتی برای ایجاد قابلیت یادگیری در سیستم‌ها استفاده کرد [5]. در دهه‌های بعد، رویکردهای نمادین توسعه بیشتری پیدا کردند و سیستم‌های خبره به عنوان یکی از شاخه‌های مهم هوش مصنوعی مطرح شدند. سیستم‌های خبره تلاش می‌کردند دانش

متخصصان انسانی را در قالب قواعد و پایگاه‌های دانش ذخیره کرده و برای حل مسائل تخصصی مورد استفاده قرار دهند. با این حال، محدودیت‌هایی مانند هزینه بالای ایجاد و نگهداری پایگاه دانش، دشواری نمایش دانش پیچیده و محدودیت توان محاسباتی باعث شد رویکردهای اولیه نتوانند تمام انتظارات ایجادشده را برآورده کنند. این مسئله زمینه‌ساز دوره‌های رکود یا همان زمستان هوش مصنوعی شد [4].

### ۲-۲-۳ دوره‌های توسعه هوش مصنوعی

تحول هوش مصنوعی را می‌توان در چند دوره اصلی بررسی کرد. این دوره‌ها کاملاً جدا از یکدیگر نیستند، بلکه بسیاری از روش‌ها و ایده‌های هر دوره در دوره‌های بعدی تکامل پیدا کرده‌اند.

#### دوره نخست؛ هوش مصنوعی نمادین:

در سال‌های اولیه، تمرکز اصلی بر منطق، قواعد، جست‌وجو و حل مسئله بود. در این رویکرد، دانش و قواعد مربوط به مسئله به صورت صریح در سیستم تعریف می‌شد. سیستم سپس با استفاده از این قواعد به نتیجه می‌رسید. این روش برای مسائل دارای ساختار مشخص مناسب بود، اما در محیط‌های پیچیده و دارای داده‌های زیاد با محدودیت روبه‌رو شد [4].

#### دوره دوم؛ سیستم‌های خبره:

در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، سیستم‌های خبره توسعه یافتند. این سیستم‌ها با استفاده از پایگاه دانش و مجموعه‌ای از قواعد تلاش می‌کردند تصمیم‌گیری یک متخصص انسانی را در یک حوزه محدود شبیه‌سازی کنند. این رویکرد در برخی کاربردهای تخصصی موفق بود، اما توسعه و نگهداری دانش موردنیاز آن دشوار و پرهزینه بود [5].

#### دوره سوم؛ توسعه یادگیری ماشین:

با گسترش داده‌های دیجیتال و افزایش توان محاسباتی، توجه پژوهشگران به روش‌هایی افزایش یافت که به جای تعریف تمام قواعد به صورت دستی، بتوانند الگوها را از داده‌ها یاد بگیرند. یادگیری ماشین به تدریج به یکی از مهم‌ترین شاخه‌های هوش مصنوعی تبدیل شد [4].

#### دوره چهارم؛ یادگیری عمیق:

از دهه ۲۰۱۰، پیشرفت شبکه‌های عصبی عمیق، افزایش حجم داده‌های آموزشی و استفاده از پردازنده‌های قدرتمند باعث جهش قابل توجهی در عملکرد سامانه‌های هوش مصنوعی شد. این تحول در حوزه‌هایی مانند تشخیص تصویر، پردازش زبان و تشخیص گفتار تأثیر زیادی داشت [6].

#### دوره پنجم؛ مدل‌های بنیادین و هوش مصنوعی مولد:

در سال‌های اخیر، مدل‌های بزرگ و چندمنظوره به یکی از جریان‌های اصلی هوش مصنوعی تبدیل شده‌اند. مدل‌های زبانی بزرگ و سامانه‌های مولد می‌توانند متن، تصویر، کد و انواع دیگری از محتوا را تولید کنند. OECD نیز ظهور هوش مصنوعی مولد و مدل‌های زبانی بزرگ را از تحولات مهم سال‌های اخیر می‌داند و سال ۲۰۲۲ را نقطه‌ای مهم در گسترش عمومی این فناوری معرفی می‌کند [7].

بنابراین، مسیر تحول هوش مصنوعی از قواعد و منطق → سیستم‌های خبره → یادگیری ماشین → یادگیری عمیق → مدل‌های بنیادین و هوش مصنوعی مولد را می‌توان به‌عنوان یک روند کلی در نظر گرفت.

#### ۴-۲-۲ دوره‌های رکود هوش مصنوعی

تاریخ هوش مصنوعی تنها شامل دوره‌های پیشرفت نبوده است. در برخی مقاطع، فاصله میان انتظارات ایجادشده و قابلیت واقعی فناوری باعث کاهش سرمایه‌گذاری، علاقه پژوهشی و حمایت مالی شد. این دوره‌ها با عنوان زمستان هوش مصنوعی یا *AI Winter* شناخته می‌شوند [4]. نخستین دوره مهم رکود در دهه ۱۹۷۰ شکل گرفت. در سال‌های اولیه، برخی پژوهشگران و سرمایه‌گذاران انتظار داشتند هوش مصنوعی در مدت کوتاهی به سطح بسیار بالایی از توانایی برسد؛ اما محدودیت توان محاسباتی، کمبود داده، دشواری حل مسائل پیچیده و محدودیت روش‌های موجود باعث شد بسیاری از این وعده‌ها محقق نشوند. در نتیجه، حمایت مالی و علاقه به برخی پروژه‌های هوش مصنوعی کاهش یافت [4]. دوره رکود دیگری در اواسط دهه ۱۹۸۰ شکل گرفت. در این دوره نیز سیستم‌های خبره با محدودیت‌هایی مواجه شدند و هزینه بالای توسعه و نگهداری آن‌ها، در کنار محدودیت‌های فنی، موجب کاهش بخشی از سرمایه‌گذاری‌ها و انتظارات شد. منابع تاریخی IBM این دوره را به‌عنوان دومین زمستان مهم هوش مصنوعی معرفی می‌کنند [8]. با این حال، رکودها به معنای توقف کامل پژوهش‌های هوش مصنوعی نبودند. در همین دوره‌ها، تحقیقات بنیادی ادامه یافت و زمینه برای توسعه روش‌های جدید فراهم شد. با افزایش توان محاسباتی، رشد داده‌های دیجیتال و پیشرفت الگوریتم‌های یادگیری ماشین، هوش مصنوعی دوباره وارد دوره توسعه شد. در دهه ۱۹۹۰، سیستم‌هایی مانند *Deep Blue* نشان دادند که رایانه‌ها می‌توانند در برخی مسائل پیچیده عملکرد قابل توجهی داشته باشند [4]. از دهه ۲۰۱۰ به بعد، ترکیب داده‌های بزرگ، توان محاسباتی بالا و پیشرفت شبکه‌های عصبی موجب رشد سریع یادگیری عمیق شد. سپس ظهور مدل‌های مولد و مدل‌های زبانی بزرگ، مرحله جدیدی از توسعه هوش مصنوعی را ایجاد کرد. بنابراین، مطالعه دوره‌های رکود نشان می‌دهد که پیشرفت هوش مصنوعی وابسته به هماهنگی میان الگوریتم، داده، سخت‌افزار و سرمایه‌گذاری پژوهشی است و افزایش انتظارات بدون وجود زیرساخت‌های فنی کافی می‌تواند به ایجاد شکاف میان وعده‌های فناوری و قابلیت واقعی آن منجر شود. [4][7]

ظهور یادگیری ماشین یا Machine Learning (ML) را می‌توان یکی از مهم‌ترین مراحل تحول هوش مصنوعی دانست. در رویکردهای اولیه هوش مصنوعی، بخش زیادی از دانش و قواعد حل مسئله به‌صورت مستقیم توسط برنامه‌نویس در سیستم تعریف می‌شد؛ در حالی که یادگیری ماشین رویکردی متفاوت ارائه کرد که در آن سیستم می‌تواند با استفاده از داده‌ها، الگوها و روابط موجود را شناسایی کرده و عملکرد خود را در انجام یک وظیفه بهبود دهد. به همین دلیل، حرکت از سیستم‌های کاملاً مبتنی بر قواعد به سمت روش‌های داده‌محور، یکی از تغییرات اساسی در تاریخ هوش مصنوعی محسوب می‌شود. [14] رشد یادگیری ماشین به عوامل مختلفی وابسته بوده است. افزایش حجم داده‌های دیجیتال، توسعه روش‌های آماری و الگوریتم‌های یادگیری، افزایش قدرت پردازنده‌ها و دسترسی گسترده‌تر به منابع محاسباتی موجب شدند استفاده از روش‌های یادگیری ماشین در مسائل پیچیده امکان‌پذیرتر شود. در این رویکرد، به جای تعریف تمامی روابط و قواعد به‌صورت دستی، الگوریتم با استفاده از داده‌های آموزشی، الگوهای موجود را استخراج می‌کند و سپس از الگوهای یادگرفته‌شده برای پیش‌بینی یا تصمیم‌گیری استفاده می‌کند [14]. یادگیری ماشین به تدریج در مسائل مختلفی مانند طبقه‌بندی، پیش‌بینی، تشخیص الگو، خوشه‌بندی، تشخیص ناهنجاری و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. روش‌های یادگیری نظارت‌شده، بدون نظارت و تقویتی نیز شکل‌های مختلف یادگیری ماشین را تشکیل می‌دهند. در قرن بیست‌ویکم، ترکیب این روش‌ها با داده‌های بزرگ و سخت‌افزارهای قدرتمند، موجب افزایش چشمگیر کاربردهای یادگیری ماشین در علوم کامپیوتر شد [14]. در واقع، ظهور یادگیری ماشین باعث شد هوش مصنوعی از سامانه‌هایی که عمدتاً بر قواعد از پیش تعیین‌شده متکی بودند، به سمت سامانه‌هایی حرکت کند که می‌توانند از داده‌ها یاد بگیرند. این تغییر، زمینه را برای توسعه شبکه‌های عصبی عمیق و مرحله بعدی تحول هوش مصنوعی یعنی یادگیری عمیق فراهم کرد [15].

یادگیری عمیق یا Deep Learning (DL) یکی از مهم‌ترین تحولات تاریخ معاصر هوش مصنوعی و زیرمجموعه‌ای از یادگیری ماشین است. در این روش، از شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه برای یادگیری الگوهای پیچیده از داده‌ها استفاده می‌شود. برخلاف بسیاری از روش‌های سنتی که نیازمند استخراج دستی ویژگی‌ها هستند، شبکه‌های عمیق می‌توانند بخش قابل توجهی از ویژگی‌های موردنیاز را مستقیماً از داده‌های خام یاد بگیرند [15]. رشد یادگیری عمیق در دهه ۲۰۱۰ نتیجه همگرایی چند عامل مهم بود: افزایش حجم داده‌های آموزشی، پیشرفت الگوریتم‌های یادگیری، افزایش قدرت پردازشی و توسعه سخت‌افزارهای مناسب برای محاسبات موازی. این عوامل امکان آموزش شبکه‌هایی با تعداد زیادی لایه و پارامتر را فراهم کردند و موجب شدند مدل‌های عمیق در مسائل مختلف عملکرد بسیار مناسبی داشته باشند [14]. یادگیری عمیق ابتدا در حوزه‌هایی مانند تشخیص تصویر و گفتار پیشرفت چشمگیری ایجاد کرد و سپس به پردازش زبان طبیعی، ترجمه ماشینی، تحلیل ویدئو، سیستم‌های توصیه‌گر و بسیاری از

کاربردهای دیگر گسترش یافت. شبکه‌های عصبی پیچشی یا CNN در پردازش تصاویر و شبکه‌های عصبی بازگشتی مانند RNN و LSTM در پردازش داده‌های ترتیبی از نمونه‌های مهم معماری‌های مورد استفاده در این دوره هستند. یکی از عوامل مهم در گسترش یادگیری عمیق، توانایی آن در استفاده از داده‌های بسیار بزرگ و یادگیری نمایش‌های چندسطحی از داده‌ها است. گزارش‌های علمی و فناوری جدید نشان می‌دهند که ترکیب داده، الگوریتم و توان محاسباتی نقش اساسی در رشد مدل‌های هوش مصنوعی داشته است [14]. از دیدگاه تاریخی، یادگیری عمیق را می‌توان یک تغییر پارادایم مهم در هوش مصنوعی دانست؛ زیرا تمرکز را بیش از گذشته از طراحی دستی ویژگی‌ها و قواعد به سمت یادگیری خودکار نمایش‌ها و الگوها از داده‌ها منتقل کرد. این تحول در نهایت زمینه توسعه مدل‌های بنیادین، مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی مولد را فراهم ساخت [15].

## ۲-۲-۷ عصر هوش مصنوعی مولد

در سال‌های اخیر، هوش مصنوعی وارد مرحله‌ای شده است که در آن هوش مصنوعی مولد یا Generative AI به یکی از مهم‌ترین محورهای توسعه فناوری تبدیل شده است. برخلاف بسیاری از سامانه‌های سنتی که هدف آن‌ها طبقه‌بندی، تشخیص یا پیش‌بینی بود، سامانه‌های مولد می‌توانند بر اساس ورودی کاربر و الگوهایی که در مرحله آموزش یاد گرفته‌اند، محتوای جدید تولید کنند. این محتوا می‌تواند شامل متن، تصویر، صوت، ویدئو و کد نرم‌افزاری باشد [16]. ظهور این دوره نتیجه ترکیب چند فناوری و عامل مهم است. توسعه شبکه‌های عصبی عمیق، افزایش حجم داده‌های آموزشی، پیشرفت سخت‌افزارهای محاسباتی و توسعه معماری‌های جدید مانند Transformer امکان ساخت مدل‌های بسیار بزرگ را فراهم کردند. مدل‌های بنیادین نیز با آموزش روی مجموعه‌های عظیم داده می‌توانند برای طیف گسترده‌ای از وظایف مورد استفاده یا تنظیم قرار گیرند [14]. از اواخر سال ۲۰۲۲، با گسترش عمومی سامانه‌هایی مانند ChatGPT، توجه عمومی و علمی به هوش مصنوعی مولد به شکل چشمگیری افزایش یافت OECD. این دوره را یکی از نقاط مهم تحول اخیر هوش مصنوعی می‌داند و اشاره می‌کند که پیشرفت‌های فنی در اواخر ۲۰۲۲ موجب شتاب قابل توجه در توسعه و استفاده از هوش مصنوعی مولد شد [14]. هوش مصنوعی مولد در حوزه علوم کامپیوتر کاربردهای متعددی پیدا کرده است. تولید و تکمیل کد، تولید مستندات نرم‌افزاری، خلاصه‌سازی متن، تولید محتوا، تحلیل داده، کمک به اشکال‌زدایی نرم‌افزار و ایجاد رابط‌های تعاملی از جمله کاربردهای مهم آن هستند. گزارش دفتر پاسخگویی دولت آمریکا نیز نشان می‌دهد که هوش مصنوعی مولد می‌تواند متن، تصویر، صوت و ویدئو تولید کند و در حوزه‌هایی مانند آموزش، سلامت، کسب‌وکار و مهندسی نرم‌افزار مورد استفاده قرار گیرد [16]. با وجود قابلیت‌های گسترده، عصر هوش مصنوعی مولد با چالش‌هایی نیز همراه است. تولید اطلاعات نادرست، سوگیری داده‌ها، مسائل مربوط به حریم خصوصی، امنیت، مالکیت فکری و دشواری توضیح فرایند تصمیم‌گیری مدل‌ها از جمله موضوعاتی هستند که در استفاده گسترده از این فناوری باید مورد توجه قرار گیرند [16].

بنابراین، عصر هوش مصنوعی مولد را می‌توان مرحله‌ای دانست که در آن هوش مصنوعی از انجام وظایف مشخص و محدود به سمت مدل‌های چندمنظوره و تولیدکننده محتوا حرکت کرده است. این تغییر،

نقش هوش مصنوعی را در علوم کامپیوتر از یک ابزار تخصصی به یک فناوری عمومی و قابل استفاده در طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های محاسباتی نزدیک کرده است [14].

## ۲-۳ مبانی و مفاهیم هوش مصنوعی

### ۲-۳-۱ تعریف هوش مصنوعی

هوش مصنوعی یا Artificial Intelligence (AI) یکی از شاخه‌های علوم کامپیوتر است که به طراحی و توسعه سامانه‌هایی می‌پردازد که قادر به انجام وظایفی هستند که معمولاً به نوعی از قابلیت‌های هوشمندانه نیاز دارند. این وظایف می‌توانند شامل یادگیری، استدلال، تشخیص الگو، درک زبان، پیش‌بینی، حل مسئله، تصمیم‌گیری و تولید محتوا باشند [14]. در رویکردهای اولیه، هوش مصنوعی بیشتر بر منطق، قواعد و نمایش دانش تمرکز داشت؛ اما با توسعه یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، بخش مهمی از سامانه‌های جدید هوش مصنوعی بر یادگیری الگوها از داده‌ها استوار شده‌اند. به همین دلیل، هوش مصنوعی امروزی مجموعه‌ای گسترده از روش‌ها، الگوریتم‌ها و فناوری‌ها را دربرمی‌گیرد و نمی‌توان آن را به یک الگوریتم یا فناوری خاص محدود کرد. بر اساس دیدگاه‌های جدید، یک سامانه هوش مصنوعی می‌تواند با دریافت ورودی از محیط، اطلاعات را پردازش کرده و بر اساس هدف تعیین‌شده خروجی‌هایی مانند پیش‌بینی، توصیه، تصمیم یا محتوای جدید ایجاد کند. میزان خودکار بودن و سازگاری این سامانه‌ها می‌تواند متفاوت باشد [14]. از دیدگاه علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی را می‌توان حوزه‌ای میان‌رشته‌ای دانست که از دانش و روش‌های علوم کامپیوتر، آمار، ریاضیات، یادگیری ماشین، علوم شناختی و مهندسی استفاده می‌کند. هدف آن ایجاد سیستم‌هایی است که بتوانند مسائل پیچیده را با استفاده از داده، الگوریتم و منابع محاسباتی حل کنند. در پژوهش حاضر، هوش مصنوعی به‌عنوان مفهوم اصلی در نظر گرفته شده و سایر حوزه‌هایی مانند یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، هوش مصنوعی مولد و مدل‌های زبانی بزرگ به‌عنوان روش‌ها یا حوزه‌های مرتبط با آن بررسی می‌شوند.

### ۲-۳-۲ ویژگی‌های سیستم‌های هوشمند

سیستم‌های هوشمند مجموعه‌ای از قابلیت‌ها را دارند که آن‌ها را از بسیاری از سیستم‌های نرم‌افزاری سنتی متمایز می‌کند. البته همه سیستم‌های هوشمند الزاماً تمام این ویژگی‌ها را به یک اندازه ندارند و میزان برخورداری از هر ویژگی به نوع سیستم و هدف طراحی آن بستگی دارد.

## ۱. قابلیت یادگیری

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های هوشمند، توانایی یادگیری از داده‌ها و تجربه است. در سیستم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، مدل می‌تواند با مشاهده داده‌های آموزشی، الگوهای موجود را شناسایی کرده و برای داده‌های جدید پیش‌بینی یا تصمیم‌گیری کند [14].

## ۲. قابلیت تشخیص الگو

سیستم‌های هوشمند می‌توانند الگوها و روابط موجود در داده‌ها را شناسایی کنند. این قابلیت در کاربردهایی مانند تشخیص تصویر، تشخیص گفتار، تحلیل متن و تشخیص ناهنجاری اهمیت زیادی دارد.

## ۳. قابلیت تصمیم‌گیری

بسیاری از سیستم‌های هوشمند پس از دریافت و تحلیل اطلاعات می‌توانند یک تصمیم یا پیشنهاد ارائه دهند. تصمیم می‌تواند بر اساس قواعد از پیش تعیین‌شده یا الگوهای یادگرفته‌شده از داده‌ها انجام شود.

## ۴. قابلیت سازگاری

برخی سیستم‌های هوشمند می‌توانند در برابر تغییر شرایط یا داده‌های جدید سازگار شوند. این ویژگی در محیط‌هایی که شرایط دائماً تغییر می‌کند اهمیت زیادی دارد و یکی از دلایل استفاده از روش‌های یادگیری ماشین در سیستم‌های پویا است.

## ۵. قابلیت پردازش داده‌های پیچیده

سیستم‌های هوشمند مدرن می‌توانند حجم زیادی از داده‌های ساختاریافته و غیرساختاریافته را پردازش کنند. پیشرفت یادگیری عمیق باعث شده است پردازش تصویر، متن، صوت و ویدئو در مقیاس وسیع امکان‌پذیرتر شود [14].

## ۶. قابلیت استنتاج و پیش‌بینی

سیستم‌های هوشمند می‌توانند بر اساس داده‌های موجود، روابط و الگوهای را استخراج کرده و از آن‌ها برای پیش‌بینی وضعیت آینده یا استنتاج اطلاعات جدید استفاده کنند. این قابلیت در تحلیل داده، تشخیص بیماری، پیش‌بینی تقاضا، تشخیص تهدیدهای امنیتی و بسیاری از کاربردهای دیگر استفاده می‌شود.

## ۷. قابلیت تعامل با انسان

برخی سیستم‌های هوشمند برای تعامل مستقیم با کاربران طراحی شده‌اند. دستیارهای هوشمند، چت‌بات‌ها و مدل‌های زبانی بزرگ نمونه‌هایی از این دسته هستند. در این سیستم‌ها، پردازش زبان طبیعی نقش مهمی در دریافت درخواست کاربر و تولید پاسخ ایفا می‌کند.

## ۸. قابلیت خودکارسازی

یکی از کاربردهای مهم هوش مصنوعی، خودکارسازی فعالیت‌هایی است که پیش از این نیازمند دخالت مستقیم انسان بودند. این خودکارسازی می‌تواند از تحلیل داده و تولید گزارش تا تشخیص الگو، پیشنهاد تصمیم و تولید کد نرم‌افزاری را شامل شود.

## ۹. قابلیت کار با داده‌های حجیم

رشد داده‌های دیجیتال یکی از عوامل اصلی توسعه هوش مصنوعی بوده است. مدل‌های جدید به‌ویژه مدل‌های عمیق و بنیادین می‌توانند از مجموعه داده‌های بسیار بزرگ برای یادگیری الگوهای پیچیده استفاده کنند [14].

## ۱۰. قابلیت تولید محتوای جدید

در نسل جدید سیستم‌های هوش مصنوعی مولد، علاوه بر تحلیل و پیش‌بینی، امکان تولید محتوای جدید نیز وجود دارد. این سیستم‌ها می‌توانند متن، تصویر، صوت، ویدئو یا کد تولید کنند و به همین دلیل دامنه کاربرد هوش مصنوعی را گسترش داده‌اند [16]. در مجموع، سیستم هوشمند را می‌توان سیستمی دانست که با ترکیب داده، الگوریتم و منابع محاسباتی قادر است اطلاعات را دریافت و تحلیل کرده و متناسب با هدف تعیین‌شده، خروجی هوشمندانه‌ای مانند پیش‌بینی، طبقه‌بندی، تصمیم، توصیه یا تولید محتوا ارائه دهد [14].

## ۳-۲-۳ عامل هوشمند

عامل هوشمند یا **Intelligent Agent** یکی از مفاهیم بنیادی در هوش مصنوعی است. عامل هوشمند به سامانه‌ای گفته می‌شود که می‌تواند محیط اطراف خود را از طریق حسگرها دریافت و درک کرده و بر اساس اطلاعات دریافت‌شده، اقدام مناسبی را برای دستیابی به هدف مشخص انجام دهد. در علوم کامپیوتر، عامل می‌تواند یک نرم‌افزار، ربات، سیستم خودکار یا هر سامانه محاسباتی دیگری باشد که توانایی دریافت ورودی از محیط و ایجاد خروجی یا عمل را داشته باشد. [23] یک عامل هوشمند معمولاً چهار فرایند اصلی را دنبال می‌کند: دریافت اطلاعات از محیط، پردازش و تحلیل اطلاعات، انتخاب اقدام مناسب و انجام اقدام. برای مثال، یک ربات هوشمند با استفاده از حسگرهای خود محیط را مشاهده می‌کند، اطلاعات دریافت‌شده را پردازش می‌کند، مسیر یا عمل مناسب را انتخاب کرده و سپس از طریق عملگرهای خود واکنش نشان می‌دهد. عامل‌های هوشمند می‌توانند بر اساس نوع عملکرد و میزان استقلال به شکل‌های مختلف طراحی شوند. برخی عامل‌ها صرفاً بر اساس قواعد مشخص عمل می‌کنند، در حالی که عامل‌های پیشرفته‌تر می‌توانند از داده‌ها یاد بگیرند، شرایط محیط را تحلیل کنند و در مواجهه با وضعیت‌های جدید تصمیم مناسبی اتخاذ کنند. توسعه یادگیری ماشین و یادگیری تقویتی موجب شده است عامل‌های هوشمند بتوانند رفتار خود را بر اساس تجربه و بازخورد محیط بهبود دهند.

یکی از ویژگی‌های مهم عامل هوشمند، خودمختاری است. عامل خودمختار می‌تواند بدون دخالت مستقیم انسان برخی تصمیم‌ها و اقدامات موردنیاز را انجام دهد. میزان خودمختاری به طراحی سیستم، نوع مسئله و سطح کنترل انسانی بستگی دارد. در سامانه‌های هوش مصنوعی جدید، ترکیب عامل‌ها با مدل‌های یادگیری عمیق و مدل‌های زبانی بزرگ، زمینه توسعه عامل‌های هوشمند پیشرفته‌تر را فراهم کرده است.

#### ۴-۳-۲ محیط و عامل در هوش مصنوعی

در هوش مصنوعی، عامل و محیط دو مفهوم مرتبط با یکدیگر هستند. محیط مجموعه شرایط، اطلاعات، اشیاء و رخدادهایی است که عامل در آن فعالیت می‌کند و عامل سامانه‌ای است که با دریافت اطلاعات محیط و انجام اقدامات مناسب با آن تعامل دارد.

تعامل عامل و محیط معمولاً به‌صورت یک چرخه انجام می‌شود:

محیط ← دریافت اطلاعات توسط حسگرها ← عامل هوشمند ← تصمیم‌گیری ← عملگرها ← محیط

عامل ابتدا وضعیت محیط را از طریق حسگرها دریافت می‌کند. سپس اطلاعات را تحلیل کرده و بر اساس هدف و شرایط موجود، اقدام مناسب را انتخاب می‌کند. اقدام انتخاب‌شده از طریق عملگرها به محیط منتقل می‌شود و وضعیت محیط تغییر می‌کند. این چرخه می‌تواند به‌صورت مداوم تکرار شود. محیط‌های مورد استفاده در مسائل هوش مصنوعی ویژگی‌های متفاوتی دارند. برای نمونه، برخی محیط‌ها کاملاً قابل مشاهده هستند، در حالی که در برخی دیگر عامل تنها بخشی از وضعیت محیط را مشاهده می‌کند. همچنین محیط می‌تواند قطعی یا احتمالی، ایستا یا پویا، گسسته یا پیوسته و تک‌عاملی یا چندعاملی باشد. شناخت ویژگی‌های محیط در انتخاب روش طراحی و الگوریتم مناسب برای عامل اهمیت زیادی دارد. در یک سیستم خودران، برای مثال، خودرو از طریق دوربین، حسگرهای فاصله و سایر تجهیزات اطلاعات محیط را دریافت می‌کند. سپس الگوریتم هوش مصنوعی این اطلاعات را تحلیل کرده و اقدام مناسب مانند تغییر مسیر، کاهش سرعت یا توقف را انتخاب می‌کند. این نمونه نشان می‌دهد که عملکرد یک عامل هوشمند به ارتباط مستمر میان حسگر، الگوریتم تصمیم‌گیری، عملگر و محیط وابسته است.

#### ۵-۳-۲ هوش مصنوعی محدود

هوش مصنوعی محدود یا Artificial Narrow Intelligence (ANI) به سامانه‌هایی گفته می‌شود که برای انجام یک وظیفه یا مجموعه محدودی از وظایف طراحی شده‌اند. این نوع هوش مصنوعی برخلاف تصور عمومی، دارای هوش عمومی مشابه انسان نیست و قابلیت آن به حوزه‌ای که برای آن آموزش یا طراحی شده محدود می‌شود. بسیاری از سامانه‌های هوش مصنوعی مورد استفاده در جهان امروز در گروه هوش مصنوعی محدود قرار می‌گیرند. برای مثال، سامانه تشخیص چهره، سیستم پیشنهاد محتوا، ابزار

تشخیص هرزنامه، سامانه تشخیص اشیا در تصاویر و بسیاری از مدل‌های پیش‌بینی نمونه‌هایی از کاربردهای هوش مصنوعی محدود هستند. مزیت اصلی این نوع سامانه‌ها، تمرکز بر یک مسئله مشخص است. زمانی که داده مناسب و مدل متناسب با مسئله در اختیار باشد، یک سامانه محدود می‌تواند در انجام وظیفه مشخص عملکرد بسیار مناسبی داشته باشد. با این حال، عملکرد آن لزوماً به مسائل خارج از حوزه آموزش یا طراحی‌شده قابل تعمیم نیست. در بحث هوش مصنوعی محدود باید میان «عملکرد بسیار قدرتمند در یک وظیفه» و «داشتن هوش عمومی» تفاوت قائل شد. یک مدل ممکن است در یک مسئله پیچیده عملکرد بسیار بالایی داشته باشد، اما این موضوع به‌تنهایی به معنای دستیابی آن به هوش عمومی انسانی نیست.

#### ۶-۳-۲ هوش مصنوعی عمومی

هوش مصنوعی عمومی یا (Artificial General Intelligence (AGI مفهومی نظری برای سامانه‌ای است که بتواند طیف گسترده‌ای از وظایف شناختی را در حوزه‌های مختلف انجام دهد و توانایی یادگیری و سازگاری خود را به مسائل جدید منتقل کند. در این مفهوم، هدف صرفاً ساخت سامانه‌ای برای یک وظیفه مشخص نیست، بلکه ایجاد نوعی قابلیت عمومی و انعطاف‌پذیر در حل مسائل است. هوش مصنوعی عمومی هنوز یک فناوری محقق‌شده و دارای تعریف فنی واحد و مورد توافق جهانی نیست و بیشتر به‌عنوان یک هدف یا مفهوم پژوهشی مورد بحث قرار می‌گیرد. تفاوت اصلی آن با هوش مصنوعی محدود در دامنه قابلیت‌ها و میزان تعمیم‌پذیری است. در هوش مصنوعی محدود، مدل معمولاً برای یک وظیفه یا مجموعه مشخصی از وظایف طراحی می‌شود؛ اما در مفهوم هوش مصنوعی عمومی، انتظار می‌رود سیستم بتواند دانش و مهارت‌های خود را در شرایط و مسائل جدید نیز به کار گیرد. به همین دلیل، یادگیری عمومی، استدلال، سازگاری، انتقال دانش و توانایی حل مسائل جدید از موضوعات مهم در بحث AGI محسوب می‌شوند. پیشرفت مدل‌های بنیادین، مدل‌های چندوجهی و مدل‌های زبانی بزرگ باعث افزایش توجه پژوهشگران به مفهوم هوش مصنوعی عمومی شده است. با این حال، عملکرد بالا در تعداد زیادی از وظایف به‌تنهایی اثبات‌کننده تحقق AGI نیست و همچنان درباره تعریف دقیق، معیارهای ارزیابی و مسیر دستیابی به آن بحث علمی وجود دارد. [14]

#### ۴-۲ شاخه‌های اصلی هوش مصنوعی

هوش مصنوعی یک حوزه واحد و محدود نیست، بلکه مجموعه‌ای از شاخه‌ها و روش‌های مرتبط را دربرمی‌گیرد. هر شاخه با تمرکز بر نوع خاصی از مسئله، داده یا قابلیت هوشمند توسعه یافته است. مهم‌ترین شاخه‌های هوش مصنوعی شامل یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، سیستم‌های خبره، پردازش گفتار، هوش مصنوعی مولد و یادگیری تقویتی هستند. ارتباط میان این شاخه‌ها نیز اهمیت زیادی دارد. برای مثال، یادگیری عمیق زیرمجموعه‌ای از یادگیری ماشین محسوب می‌شود و از شبکه‌های عصبی چندلایه استفاده می‌کند. پردازش زبان طبیعی و بینایی ماشین نیز از

روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق برای پردازش داده‌های متنی و تصویری استفاده می‌کنند. هوش مصنوعی مولد نیز از مدل‌های پیشرفته یادگیری عمیق برای تولید محتوای جدید بهره می‌گیرد. بررسی این شاخه‌ها در پژوهش حاضر اهمیت دارد، زیرا هدف تحقیق تنها معرفی مفهوم هوش مصنوعی نیست؛ بلکه روش‌ها و الگوریتم‌هایی که باعث شکل‌گیری کاربردهای مختلف این فناوری در علوم کامپیوتر شده‌اند نیز مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

## ۱-۴-۲ یادگیری ماشین

یادگیری ماشین یا Machine Learning (ML) یکی از مهم‌ترین شاخه‌های هوش مصنوعی است که به توسعه الگوریتم‌ها و مدل‌هایی می‌پردازد که می‌توانند از داده‌ها الگو یاد بگیرند و از الگوهای آموخته‌شده برای انجام وظایفی مانند پیش‌بینی، طبقه‌بندی، تشخیص یا تصمیم‌گیری استفاده کنند [23]. تفاوت اساسی یادگیری ماشین با برنامه‌نویسی سنتی در نحوه حل مسئله است. در برنامه‌نویسی سنتی، برنامه‌نویس معمولاً قواعد و مراحل حل مسئله را به صورت مستقیم تعریف می‌کند؛ اما در یادگیری ماشین، الگوریتم با استفاده از داده‌های آموزشی، پارامترهای مدل را به گونه‌ای تنظیم می‌کند که بتواند الگوی موردنظر را یاد بگیرد.

روش‌های یادگیری ماشین را می‌توان به چهار گروه اصلی تقسیم کرد:

### ۱. یادگیری نظارت‌شده:

در این روش، مدل با استفاده از داده‌هایی آموزش داده می‌شود که خروجی یا برچسب آن‌ها مشخص است. طبقه‌بندی و رگرسیون از مهم‌ترین کاربردهای این روش هستند.

### ۲. یادگیری بدون نظارت:

در این روش، داده‌ها فاقد برچسب مشخص هستند و الگوریتم تلاش می‌کند ساختارها و الگوهای موجود در داده را کشف کند. خوشه‌بندی یکی از کاربردهای شناخته‌شده آن است.

### ۳. یادگیری نیمه نظارتی:

این روش ترکیبی از داده‌های برچسب‌دار و بدون برچسب را مورد استفاده قرار می‌دهد و زمانی اهمیت دارد که تهیه داده‌های برچسب‌دار هزینه‌بر باشد.

### ۴. یادگیری تقویتی:

در این روش، عامل با محیط تعامل کرده و بر اساس پاداش یا جریمه، رفتار خود را بهبود می‌دهد. این رویکرد در مسائلی مانند کنترل، بازی‌ها و تصمیم‌گیری ترتیبی کاربرد دارد. از الگوریتم‌های مهم یادگیری ماشین می‌توان به درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، K-Means، رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک و روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی اشاره کرد. انتخاب الگوریتم مناسب به عواملی مانند

نوع داده، اندازه مجموعه داده، نوع مسئله، میزان دقت موردنیاز، سرعت پردازش و منابع محاسباتی بستگی دارد. در علوم کامپیوتر، یادگیری ماشین کاربردهای گسترده‌ای دارد و در حوزه‌هایی مانند تشخیص نفوذ و تهدیدهای سایبری، تحلیل داده، تشخیص تقلب، سیستم‌های توصیه‌گر، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین و مهندسی نرم‌افزار استفاده می‌شود. گسترش داده‌های دیجیتال و افزایش توان پردازشی نیز موجب شده است یادگیری ماشین به یکی از اصلی‌ترین ابزارهای حل مسائل پیچیده در علوم کامپیوتر تبدیل شود [14].

## ۲-۴-۲ یادگیری عمیق

یادگیری عمیق یا Deep Learning یکی از مهم‌ترین زیرشاخه‌های یادگیری ماشین است که بر استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه برای یادگیری الگوهای پیچیده از داده‌ها تمرکز دارد. در این روش، برخلاف بسیاری از الگوریتم‌های سنتی یادگیری ماشین که به استخراج و انتخاب ویژگی‌ها توسط انسان نیاز دارند، شبکه عصبی می‌تواند بخش قابل توجهی از ویژگی‌های موردنیاز را به صورت خودکار از داده‌های ورودی استخراج و در سطوح مختلف یادگیری کند. این ویژگی باعث شده است یادگیری عمیق در پردازش داده‌های پیچیده مانند تصویر، صوت، متن و ویدئو کاربرد گسترده‌ای پیدا کند [29]. ساختار مدل‌های یادگیری عمیق معمولاً از چندین لایه تشکیل می‌شود. لایه ورودی داده را دریافت می‌کند، لایه‌های میانی یا پنهان ویژگی‌ها و الگوهای مختلف را استخراج می‌کنند و لایه خروجی نتیجه نهایی را ارائه می‌دهد. افزایش تعداد لایه‌ها باعث می‌شود مدل بتواند روابط و ویژگی‌های پیچیده‌تری را از داده‌ها استخراج کند. البته افزایش عمق مدل به داده آموزشی، توان محاسباتی و روش‌های مناسب برای آموزش نیز نیاز دارد. یکی از مهم‌ترین معماری‌های یادگیری عمیق، شبکه عصبی پیچشی یا CNN است که به طور گسترده در پردازش تصاویر و تشخیص الگوهای بصری استفاده می‌شود. معماری‌های RNN و LSTM نیز برای داده‌های ترتیبی و زمانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سال‌های اخیر، معماری Transformer نیز به یکی از مهم‌ترین ساختارهای یادگیری عمیق تبدیل شده و نقش مهمی در توسعه مدل‌های زبانی بزرگ و سامانه‌های هوش مصنوعی مولد داشته است [29]. یادگیری عمیق در علوم کامپیوتر در حوزه‌هایی مانند تشخیص چهره، تشخیص اشیاء، تشخیص گفتار، ترجمه ماشینی، تحلیل متن، تشخیص تهدیدهای سایبری، سیستم‌های توصیه‌گر و تولید محتوا کاربرد دارد. بنابراین، یادگیری عمیق را می‌توان یکی از مهم‌ترین فناوری‌های فنی در توسعه نسل جدید سامانه‌های هوش مصنوعی دانست.

## ۲-۴-۳ پردازش زبان طبیعی

پردازش زبان طبیعی یا Natural Language Processing (NLP) یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر است که هدف آن ایجاد روش‌ها و سامانه‌هایی برای پردازش، تحلیل و تولید زبان انسانی توسط رایانه است. زبان انسانی دارای ساختار پیچیده، ابهام، وابستگی به زمینه و تنوع بسیار زیاد است؛ بنابراین پردازش آن یکی از مسائل چالش‌برانگیز هوش مصنوعی محسوب می‌شود [29].

پردازش زبان طبیعی شامل فعالیت‌هایی مانند طبقه‌بندی متن، استخراج اطلاعات، تحلیل احساسات، ترجمه ماشینی، خلاصه‌سازی، پاسخ‌گویی به پرسش‌ها، تشخیص موجودیت‌های نامدار و تولید متن است. در روش‌های سنتی، سیستم‌ها بیشتر از قواعد زبانی، روش‌های آماری و ویژگی‌های دستی استفاده می‌کردند؛ اما توسعه یادگیری عمیق باعث تغییر چشمگیر در روش‌های پردازش زبان شد. مدل‌های مبتنی بر معماری Transformer تحول مهمی در پردازش زبان طبیعی ایجاد کردند. این معماری با استفاده از سازوکار توجه یا Attention می‌تواند ارتباط میان بخش‌های مختلف یک متن را در هنگام پردازش بهتر در نظر بگیرد. مدل‌های زبانی بزرگ نیز بر اساس همین مسیر توسعه یافته‌اند و قادرند وظایف مختلف زبانی را در مقیاس گسترده انجام دهند [30]. در علوم کامپیوتر، NLP در ساخت موتورهای جست‌وجو، دستیارهای هوشمند، چت‌بات‌ها، تحلیل اسناد، تولید کد و ابزارهای هوشمند نرم‌افزاری کاربرد دارد. ظهور مدل‌های زبانی بزرگ باعث شده است پردازش زبان طبیعی از یک ابزار تخصصی به یکی از بخش‌های اصلی تعامل انسان و رایانه تبدیل شود.

#### ۴-۴-۲ بینایی ماشین

بینایی ماشین یا Computer Vision شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که به پردازش و تفسیر اطلاعات موجود در تصاویر و ویدئوها توسط رایانه می‌پردازد. هدف این حوزه ایجاد سامانه‌هایی است که بتوانند محتوای بصری را دریافت کرده، ویژگی‌های آن را استخراج و بر اساس اطلاعات به دست آمده، عملیات مختلفی مانند تشخیص، طبقه‌بندی و تحلیل انجام دهند. از مهم‌ترین وظایف بینایی ماشین می‌توان به طبقه‌بندی تصاویر، تشخیص اشیاء، تشخیص چهره، تقسیم‌بندی تصویر، تشخیص حرکت، تحلیل ویدئو و استخراج ویژگی‌های بصری اشاره کرد. یادگیری عمیق به‌ویژه شبکه‌های عصبی پیچشی نقش مهمی در افزایش عملکرد سامانه‌های بینایی ماشین داشته است [29]. در روش‌های جدید، مدل‌های عمیق می‌توانند ویژگی‌های پیچیده تصویر را به صورت خودکار استخراج کنند. این موضوع باعث کاهش وابستگی به استخراج دستی ویژگی‌ها شده و امکان استفاده از مدل‌ها در مجموعه داده‌های بسیار بزرگ را فراهم کرده است. بینایی ماشین در علوم کامپیوتر در زمینه‌هایی مانند امنیت، خودروهای خودران، پزشکی، کنترل کیفیت صنعتی، رباتیک، تشخیص اسناد، واقعیت افزوده و سامانه‌های نظارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۴-۴-۵ پردازش گفتار

پردازش گفتار یا Speech Processing یکی از حوزه‌های مرتبط با هوش مصنوعی است که بر دریافت، تحلیل و تولید سیگنال‌های صوتی و گفتاری تمرکز دارد. هدف اصلی آن این است که رایانه بتواند گفتار انسان را دریافت کرده و آن را به اطلاعات قابل پردازش تبدیل کند یا در جهت تولید گفتار طبیعی مورد استفاده قرار دهد. یکی از شناخته‌شده‌ترین کاربردهای این حوزه، تبدیل گفتار به متن یا Speech-to-Text است. در این فرایند، سیستم سیگنال صوتی را دریافت کرده و با استفاده از مدل‌های یادگیری

ماشین و یادگیری عمیق، کلمات و جملات بیان شده را شناسایی می‌کند. کاربرد دیگر، تبدیل متن به گفتار یا Text-to-Speech است که در آن سامانه متن را به صدای مصنوعی تبدیل می‌کند. پردازش گفتار در دستیارهای صوتی، سیستم‌های پاسخ‌گویی خودکار، زیرنویس خودکار، خدمات ارتباطی، ابزارهای کمک‌رسان برای افراد دارای محدودیت و سامانه‌های امنیتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیشرفت مدل‌های عمیق و مدل‌های چندوجهی نیز موجب افزایش کیفیت تشخیص و تولید گفتار شده است.

#### ۶-۴-۲ رباتیک

رباتیک یکی از حوزه‌های میان‌رشته‌ای مرتبط با هوش مصنوعی، علوم کامپیوتر و مهندسی است که به طراحی، ساخت، کنترل و استفاده از ربات‌ها می‌پردازد. ربات‌ها می‌توانند اطلاعات محیط را از طریق حسگرها دریافت کرده و با استفاده از الگوریتم‌های کنترلی و هوش مصنوعی نسبت به محیط واکنش نشان دهند. هوش مصنوعی در رباتیک برای قابلیت‌هایی مانند تشخیص محیط، مکان‌یابی، برنامه‌ریزی مسیر، تشخیص اشیاء، تصمیم‌گیری، کنترل حرکت و تعامل با انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد. ترکیب بینایی ماشین با رباتیک نیز امکان شناسایی اشیاء و محیط پیرامون را برای ربات‌ها فراهم می‌کند. ربات‌های صنعتی، ربات‌های خدماتی، ربات‌های پزشکی، ربات‌های انبارداری و خودروهای خودران از جمله نمونه‌های استفاده از روش‌های هوشمند در رباتیک هستند. در چنین سامانه‌هایی، عامل هوشمند اطلاعات محیط را دریافت کرده، شرایط را تحلیل می‌کند و سپس مناسب‌ترین اقدام را انتخاب می‌کند.

#### ۷-۴-۲ سیستم‌های خبره

سیستم خبره یا Expert System یکی از رویکردهای کلاسیک هوش مصنوعی است که هدف آن شبیه‌سازی بخشی از دانش و فرایند تصمیم‌گیری یک متخصص انسانی در یک حوزه مشخص است. سیستم خبره معمولاً از دو بخش اصلی یعنی پایگاه دانش و موتور استنتاج تشکیل می‌شود. پایگاه دانش شامل اطلاعات، قواعد و روابط مربوط به حوزه موردنظر است و موتور استنتاج با استفاده از این دانش، شرایط ورودی را بررسی کرده و نتیجه یا پیشنهاد مناسب را ارائه می‌دهد. این سیستم‌ها در گذشته در حوزه‌هایی مانند پزشکی، تشخیص خطا، مهندسی و پشتیبانی تصمیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از محدودیت‌های مهم سیستم‌های خبره این است که ایجاد و به‌روزرسانی دانش آن‌ها معمولاً به دخالت متخصصان انسانی نیاز دارد. همچنین سیستم‌های خبره سنتی در مواجهه با داده‌های بسیار بزرگ، شرایط ناشناخته و مسائل پویا محدودیت‌هایی دارند. با توسعه یادگیری ماشین، بخشی از کاربردهای سیستم‌های خبره به سمت سامانه‌های داده‌محور حرکت کرده است. با وجود این محدودیت‌ها، مفهوم سیستم خبره از نظر تاریخی اهمیت زیادی دارد؛ زیرا نشان‌دهنده یکی از نخستین تلاش‌های گسترده برای انتقال دانش تخصصی انسان به یک سیستم رایانه‌ای است.

## ۸-۴-۲ استدلال و تصمیم‌گیری هوشمند

استدلال و تصمیم‌گیری هوشمند به مجموعه روش‌هایی گفته می‌شود که به سامانه هوش مصنوعی امکان می‌دهند بر اساس اطلاعات موجود، قوانین، داده‌ها یا تجربه‌های قبلی، نتیجه‌گیری کرده و مناسب‌ترین اقدام را انتخاب کند. استدلال در هوش مصنوعی می‌تواند بر اساس روش‌های مختلفی مانند منطق، قواعد، احتمال، استنتاج آماری و مدل‌های یادگیری ماشین انجام شود. در سیستم‌های سنتی، استدلال بیشتر بر قواعد صریح و منطق تکیه داشت؛ اما در سامانه‌های جدید، داده و مدل‌های یادگیری نیز نقش مهمی در تصمیم‌گیری دارند. در مسائل تصمیم‌گیری، سیستم ابتدا اطلاعات موردنیاز را دریافت می‌کند، سپس گزینه‌های موجود را بررسی کرده و با توجه به هدف و شرایط محیط، یک اقدام را انتخاب می‌کند. در برخی کاربردها، تصمیم‌گیری با عدم قطعیت همراه است و سیستم باید احتمال رخداد‌های مختلف را نیز در نظر بگیرد. این حوزه در سیستم‌های توصیه‌گر، تشخیص پزشکی، خودروهای خودران، مدیریت منابع، امنیت سایبری، رباتیک و سامانه‌های پشتیبان تصمیم کاربرد دارد. توسعه مدل‌های هوش مصنوعی مولد و عامل‌های هوشمند نیز اهمیت تصمیم‌گیری خودکار و استدلال را افزایش داده است [30].

## ۵-۲ روش‌های یادگیری ماشین

روش‌های یادگیری ماشین را می‌توان بر اساس نوع داده آموزشی، نحوه دریافت بازخورد و شیوه یادگیری مدل به چند گروه اصلی تقسیم کرد. انتخاب روش مناسب به نوع مسئله، ساختار داده‌ها، وجود یا نبود برچسب، هدف پژوهش و منابع محاسباتی بستگی دارد.

### ۱-۵-۲ یادگیری نظارت‌شده

در یادگیری نظارت‌شده یا Supervised Learning، مدل با استفاده از داده‌هایی آموزشی داده می‌شود که برای هر نمونه، خروجی یا برچسب مشخصی وجود دارد. هدف مدل یادگیری رابطه میان ورودی و خروجی و استفاده از این رابطه برای پیش‌بینی نمونه‌های جدید است.

دو مسئله اصلی در یادگیری نظارت‌شده عبارت‌اند از:

- طبقه‌بندی: پیش‌بینی یک دسته یا کلاس مشخص؛ مانند تشخیص ایمیل هرزنامه.
  - رگرسیون: پیش‌بینی یک مقدار عددی؛ مانند پیش‌بینی قیمت یا میزان تقاضا.
- از الگوریتم‌های رایج این روش می‌توان به رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و شبکه‌های عصبی اشاره کرد.

## ۲-۵-۲ یادگیری بدون نظارت

در یادگیری بدون نظارت یا **Unsupervised Learning**، داده‌های آموزشی فاقد برچسب مشخص هستند و الگوریتم تلاش می‌کند ساختار یا الگوهای پنهان موجود در داده‌ها را کشف کند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای آن خوشه‌بندی است. در خوشه‌بندی، داده‌هایی که ویژگی‌های مشابه دارند در گروه‌های یکسان قرار می‌گیرند. الگوریتم **K-Means** یکی از نمونه‌های شناخته‌شده این روش است. یادگیری بدون نظارت در تحلیل داده‌های بزرگ، کشف الگو، بخش‌بندی کاربران و تشخیص ساختارهای ناشناخته کاربرد دارد.

## ۲-۵-۳ یادگیری نیمه‌نظارتی

در یادگیری نیمه‌نظارتی یا **Semi-Supervised Learning**، ترکیبی از داده‌های دارای برچسب و بدون برچسب برای آموزش مدل استفاده می‌شود. این روش زمانی اهمیت دارد که تهیه داده‌های برچسب‌دار هزینه‌بر یا زمان‌بر باشد، اما مقدار زیادی داده بدون برچسب در اختیار پژوهشگر قرار داشته باشد. هدف اصلی این روش استفاده از اطلاعات موجود در داده‌های بدون برچسب برای بهبود عملکرد مدل است.

## ۲-۵-۴ یادگیری تقویتی

یادگیری تقویتی یا **Reinforcement Learning** روشی است که در آن یک عامل با محیط تعامل می‌کند و بر اساس نتیجه اقدامات خود، پاداش یا جریمه دریافت می‌کند. عامل تلاش می‌کند سیاستی را یاد بگیرد که مجموع پاداش دریافتی در طول زمان را افزایش دهد. اجزای اصلی یادگیری تقویتی شامل عامل، محیط، وضعیت، عمل و پاداش هستند. این روش در بازی‌های رایانه‌ای، رباتیک، کنترل سیستم‌ها، مدیریت منابع و مسائل تصمیم‌گیری ترتیبی کاربرد دارد.

## ۲-۵-۵ یادگیری عمیق به‌عنوان رویکرد داده‌محور

یادگیری عمیق را می‌توان رویکردی پیشرفته در یادگیری ماشین دانست که از شبکه‌های عصبی چندلایه استفاده می‌کند. این روش برای مسائل دارای داده‌های پیچیده، به‌ویژه تصویر، صوت، متن و ویدئو، اهمیت زیادی دارد. تفاوت مهم آن با بسیاری از روش‌های سنتی یادگیری ماشین، توانایی استخراج خودکار ویژگی‌ها از داده‌هاست. به همین دلیل، یادگیری عمیق در سال‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین روش‌های توسعه سامانه‌های هوش مصنوعی تبدیل شده است [29].

## ۶-۵-۲ مقایسه روش‌های اصلی یادگیری ماشین

| نمونه کاربرد                | هدف اصلی                     | نوع داده                    | روش                 |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| تشخیص بیماری، تشخیص هرزنامه | پیش‌بینی و طبقه‌بندی         | داده برچسب‌دار              | یادگیری نظارت‌شده   |
| خوشه‌بندی کاربران           | کشف الگو و ساختار            | داده بدون برچسب             | یادگیری بدون نظارت  |
| طبقه‌بندی تصاویر            | بهبود یادگیری با برچسب محدود | داده برچسب‌دار و بدون برچسب | یادگیری نیمه‌نظارتی |
| رباتیک و بازی               | یادگیری تصمیم بهینه          | تعامل عامل و محیط           | یادگیری تقویتی      |
| تصویر، متن و صوت            | یادگیری ویژگی‌های عمیق       | داده‌های حجیم و پیچیده      | یادگیری عمیق        |

## ۵-۲ روش‌های یادگیری ماشین

### ۱-۵-۲ یادگیری نظارت‌شده

یادگیری نظارت‌شده یا Supervised Learning یکی از رایج‌ترین روش‌های یادگیری ماشین است که در آن الگوریتم با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی دارای برچسب، رابطه میان ورودی و خروجی را یاد می‌گیرد. در این روش، برای هر نمونه آموزشی، مقدار یا کلاس صحیح مشخص است و مدل تلاش می‌کند با کمینه کردن خطای پیش‌بینی، پارامترهای خود را تنظیم کند. پس از پایان آموزش، مدل می‌تواند برای داده‌های جدید که قبلاً مشاهده نکرده است، خروجی مناسب را پیش‌بینی کند. مسائل یادگیری نظارت‌شده معمولاً به دو گروه اصلی طبقه‌بندی و رگرسیون تقسیم می‌شوند. در طبقه‌بندی، خروجی مدل یک کلاس یا گروه مشخص است؛ برای مثال، تشخیص اینکه یک ایمیل «هرزنامه» است یا «عادی». در رگرسیون، خروجی یک مقدار عددی پیوسته است؛ برای مثال، پیش‌بینی قیمت یک محصول یا میزان مصرف انرژی [34]. فرایند یادگیری نظارت‌شده معمولاً شامل جمع‌آوری داده، آماده‌سازی داده، تقسیم داده به مجموعه‌های آموزش و آزمون، آموزش مدل و ارزیابی عملکرد آن است. کیفیت داده‌های آموزشی و نحوه انتخاب ویژگی‌ها تأثیر زیادی بر عملکرد نهایی مدل دارد. از الگوریتم‌های مهم این روش می‌توان به رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک، درخت تصمیم، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان اشاره کرد.

## ۲-۵-۲ یادگیری بدون نظارت

یادگیری بدون نظارت یا **Unsupervised Learning** روشی از یادگیری ماشین است که در آن مدل با داده‌هایی آموزش داده می‌شود که خروجی یا برچسب از پیش تعیین شده ندارند. هدف اصلی در این روش، کشف ساختار، روابط، الگوها یا گروه‌های موجود در داده‌هاست [34].

یکی از مهم‌ترین کاربردهای یادگیری بدون نظارت، خوشه‌بندی است. در خوشه‌بندی، الگوریتم نمونه‌های مشابه را در گروه‌های مختلف قرار می‌دهد، بدون اینکه از قبل مشخص شده باشد هر نمونه متعلق به کدام گروه است. الگوریتم **K-Means** نمونه‌ای شناخته شده از روش‌های خوشه‌بندی است. از دیگر کاربردهای یادگیری بدون نظارت می‌توان به کاهش ابعاد، کشف الگوهای پنهان، تحلیل رفتار کاربران، تشخیص ناهنجاری و بخش‌بندی داده‌ها اشاره کرد. این روش به‌ویژه در شرایطی اهمیت دارد که تهیه داده‌های برچسب‌دار دشوار، پرهزینه یا زمان‌بر باشد.

## ۲-۵-۳ یادگیری نیمه‌نظارتی

یادگیری نیمه‌نظارتی یا **Semi-Supervised Learning** ترکیبی از یادگیری نظارت شده و بدون نظارت است. در این روش، بخشی از داده‌ها دارای برچسب هستند و بخش بزرگ‌تری از داده‌ها بدون برچسب باقی می‌مانند. مدل تلاش می‌کند از هر دو نوع داده برای افزایش کیفیت یادگیری استفاده کند. اهمیت این روش از آنجا ناشی می‌شود که در بسیاری از مسائل واقعی، جمع‌آوری داده خام آسان است اما برچسب‌گذاری آن‌ها به متخصص یا نیروی انسانی نیاز دارد. بنابراین، استفاده از حجم زیادی داده بدون برچسب در کنار مقدار محدودی داده برچسب‌دار می‌تواند هزینه و زمان آماده‌سازی مجموعه داده را کاهش دهد. یادگیری نیمه‌نظارتی در حوزه‌هایی مانند طبقه‌بندی تصاویر، پردازش متن، تشخیص گفتار، تحلیل اسناد و تشخیص الگو کاربرد دارد و به‌خصوص زمانی مفید است که داده‌های برچسب‌دار محدود باشند.

## ۲-۵-۴ یادگیری تقویتی

یادگیری تقویتی یا **Reinforcement Learning** روشی است که در آن یک عامل هوشمند با محیط تعامل می‌کند و بر اساس عملکرد خود بازخورد دریافت می‌کند. این بازخورد معمولاً به شکل پاداش یا جریمه تعریف می‌شود. عامل با تکرار تعامل با محیط تلاش می‌کند سیاستی را یاد بگیرد که مجموع پاداش دریافتی در بلندمدت افزایش یابد [35]. در یادگیری تقویتی، اجزای اصلی شامل عامل، محیط، وضعیت، عمل و پاداش هستند. عامل در هر مرحله وضعیت محیط را مشاهده کرده، یک عمل را انتخاب می‌کند و سپس بر اساس نتیجه آن عمل، پاداش دریافت می‌کند. با تکرار این فرایند، عامل می‌تواند رفتار خود را بهبود دهد. یادگیری تقویتی در مسائلی که تصمیم‌گیری به‌صورت مرحله‌ای انجام می‌شود کاربرد

زیادی دارد. ربانیک، بازی‌های رایانه‌ای، کنترل سیستم‌ها، خودروهای خودران، مدیریت منابع و برنامه‌ریزی از جمله حوزه‌های مهم استفاده از این روش هستند.

## ۲-۶ الگوریتم‌های مهم یادگیری ماشین

الگوریتم‌های یادگیری ماشین ابزارهایی هستند که برای استخراج الگو از داده‌ها، پیش‌بینی، طبقه‌بندی و تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر الگوریتم بر اساس نوع داده، ساختار مسئله، هدف پژوهش و محدودیت‌های محاسباتی، مزایا و معایب خاص خود را دارد.

### ۲-۶-۱ رگرسیون خطی

رگرسیون خطی یا Linear Regression یکی از ساده‌ترین و بنیادی‌ترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظارت‌شده است که برای پیش‌بینی یک متغیر عددی بر اساس یک یا چند متغیر ورودی استفاده می‌شود. هدف این الگوریتم پیدا کردن رابطه‌ای خطی میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته است. در ساده‌ترین حالت، مدل رابطه میان ورودی و خروجی را به شکل یک خط در نظر می‌گیرد. پارامترهای این خط به گونه‌ای تعیین می‌شوند که اختلاف میان مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی‌شده تا حد امکان کاهش پیدا کند. رگرسیون خطی به دلیل سادگی، سرعت مناسب و قابلیت تفسیر بالا، در بسیاری از مسائل پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از کاربردهای آن می‌توان به پیش‌بینی قیمت، پیش‌بینی فروش، برآورد مصرف انرژی و تحلیل روابط میان متغیرها اشاره کرد. با وجود سادگی، رگرسیون خطی برای روابط بسیار پیچیده و غیرخطی مناسب نیست و در چنین شرایطی ممکن است الگوریتم‌های پیچیده‌تر عملکرد بهتری داشته باشند.

### ۲-۶-۲ رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک یا Logistic Regression یکی از الگوریتم‌های یادگیری نظارت‌شده است که بیشتر برای مسائل طبقه‌بندی، به‌ویژه طبقه‌بندی دودویی، استفاده می‌شود. برخلاف نام آن، هدف اصلی آن پیش‌بینی احتمال تعلق یک نمونه به یک کلاس مشخص است. این الگوریتم با استفاده از تابع لجستیک یا Sigmoid مقدار خروجی را به محدوده صفر تا یک تبدیل می‌کند. این مقدار می‌تواند به عنوان احتمال تعلق نمونه به یک کلاس تفسیر شود. سپس بر اساس یک آستانه مشخص، معمولاً ۰/۵، نمونه به یکی از کلاس‌ها اختصاص داده می‌شود.

### در حال بارگیری

رگرسیون لجستیک به دلیل سادگی و قابلیت تفسیر در مسائلی مانند تشخیص دودسته‌ای، تشخیص تقلب، تشخیص هرزنامه، پیش‌بینی احتمال وقوع یک رویداد و تحلیل داده‌های پزشکی کاربرد دارد. مزیت مهم این الگوریتم، سرعت مناسب و قابلیت تفسیر ضرایب مدل است؛ با این حال، زمانی که رابطه میان متغیرها بسیار پیچیده و غیرخطی باشد، ممکن است روش‌های پیشرفته‌تر عملکرد بهتری داشته باشند.

### ۳-۶-۲ درخت تصمیم

درخت تصمیم یا Decision Tree الگوریتمی برای یادگیری نظارت شده است که می تواند در مسائل طبقه بندی و رگرسیون مورد استفاده قرار گیرد. ساختار این الگوریتم شبیه یک درخت است و از گره ها، شاخه ها و برگ ها تشکیل می شود. در هر گره، الگوریتم یکی از ویژگی های داده را برای تقسیم نمونه ها انتخاب می کند. این فرایند تا رسیدن به شرایط مشخص ادامه پیدا می کند و در نهایت هر برگ نتیجه یا پیش بینی مدل را نشان می دهد. درخت تصمیم از مزیت مهم قابلیت تفسیر بالا برخوردار است؛ زیرا مسیر تصمیم گیری آن را می توان به صورت مرحله به مرحله مشاهده کرد. به همین دلیل، در بسیاری از مسائل که توضیح منطق تصمیم اهمیت دارد، مورد استفاده قرار می گیرد. از کاربردهای این الگوریتم می توان به طبقه بندی کاربران، تشخیص خطا، ارزیابی ریسک، تشخیص تقلب و پیش بینی مقادیر عددی اشاره کرد. یکی از مشکلات درخت تصمیم، احتمال بیش برآزش یا Overfitting است. اگر درخت بیش از حد پیچیده شود، ممکن است داده های آموزشی را بیش از اندازه یاد بگیرد و در مواجهه با داده های جدید عملکرد ضعیف تری داشته باشد.

### ۴-۶-۲ جنگل تصادفی

جنگل تصادفی یا Random Forest یک روش یادگیری ماشین مبتنی بر ترکیب تعداد زیادی درخت تصمیم است. در این روش، چندین درخت با استفاده از نمونه ها و ویژگی های مختلف ساخته می شوند و خروجی نهایی با ترکیب نتایج آن ها تعیین می شود. در مسائل طبقه بندی، معمولاً رأی درخت ها برای تعیین کلاس نهایی استفاده می شود و در مسائل رگرسیون، خروجی درخت ها با یکدیگر ترکیب می شوند. این ساختار باعث می شود جنگل تصادفی در بسیاری از مسائل نسبت به یک درخت تصمیم منفرد، پایداری و مقاومت بیشتری در برابر بیش برآزش داشته باشد. جنگل تصادفی در مسائل مختلفی مانند طبقه بندی، پیش بینی، تشخیص ناهنجاری، تحلیل داده و تشخیص الگو استفاده می شود. همچنین امکان بررسی اهمیت نسبی ویژگی ها یکی از قابلیت های مفید آن در تحلیل داده است. از مزایای مهم جنگل تصادفی می توان به عملکرد مناسب، قابلیت استفاده برای مسائل طبقه بندی و رگرسیون، مقاومت نسبتاً مناسب در برابر نویز و امکان کار با تعداد زیادی ویژگی اشاره کرد. در مقابل، تعداد زیاد درخت ها می تواند باعث افزایش هزینه محاسباتی و کاهش سادگی تفسیر مدل نسبت به یک درخت تصمیم شود.

### ۵-۶-۲ ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان یا Support Vector Machine (SVM) یکی از الگوریتم‌های مهم یادگیری ماشین نظارت‌شده است که برای مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایده اصلی این الگوریتم، پیدا کردن یک مرز تصمیم مناسب میان گروه‌های مختلف داده است؛ به گونه‌ای که فاصله میان مرز تصمیم و نزدیک‌ترین نمونه‌های هر گروه تا حد امکان بیشینه شود. این نمونه‌های نزدیک به مرز، بردارهای پشتیبان نامیده می‌شوند. [46] یکی از ویژگی‌های مهم SVM استفاده از توابع هسته یا Kernel است. تابع هسته امکان می‌دهد داده‌ها در فضای ویژگی مناسب‌تری بررسی شوند و در شرایطی که داده‌ها در فضای اولیه به صورت خطی قابل جداسازی نیستند، مرز تصمیم غیرخطی ایجاد شود [46]. به همین دلیل، SVM در مسائلی مانند طبقه‌بندی متن، تشخیص الگو، تشخیص تصویر و تحلیل داده کاربرد دارد. از مزایای این الگوریتم می‌توان به عملکرد مناسب در مجموعه داده‌های دارای تعداد ویژگی زیاد و قابلیت ایجاد مرزهای تصمیم پیچیده اشاره کرد. با این حال، انتخاب تابع هسته و پارامترهای مدل می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد نهایی آن داشته باشد.

#### ۶-۶-۲ نزدیک‌ترین همسایه

الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه یا K-Nearest Neighbors (KNN) یکی از روش‌های ساده یادگیری ماشین است که بیشتر برای طبقه‌بندی و رگرسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس این الگوریتم بر میزان شباهت میان نمونه‌ها استوار است. برای پیش‌بینی یک نمونه جدید، فاصله آن با نمونه‌های آموزشی محاسبه شده و تعداد مشخصی از نزدیک‌ترین نمونه‌ها انتخاب می‌شوند. [46] در مسائل طبقه‌بندی، کلاس نمونه جدید معمولاً بر اساس رأی اکثریت نزدیک‌ترین همسایه‌ها تعیین می‌شود. در مسائل رگرسیون نیز می‌توان مقدار خروجی همسایه‌های انتخاب‌شده را با روش‌هایی مانند میانگین‌گیری ترکیب کرد. [46] یکی از مزایای KNN سادگی و قابل فهم بودن آن است. در مقابل، در مجموعه داده‌های بسیار بزرگ، محاسبه فاصله میان نمونه جدید و نمونه‌های آموزشی می‌تواند هزینه محاسباتی زیادی ایجاد کند. همچنین انتخاب مقدار مناسب K و روش اندازه‌گیری فاصله، بر عملکرد الگوریتم تأثیر دارد.

#### ۷-۶-۲ K-Means

K-Means یکی از الگوریتم‌های مهم یادگیری بدون نظارت و از روش‌های شناخته‌شده خوشه‌بندی است. هدف آن تقسیم داده‌ها به تعداد مشخصی گروه یا خوشه است؛ به گونه‌ای که نمونه‌های قرار گرفته در هر خوشه بیشترین شباهت را با یکدیگر داشته باشند. [46] در K-Means ابتدا تعداد خوشه‌ها یعنی K مشخص می‌شود. سپس مراکز اولیه خوشه‌ها تعیین شده و هر نمونه بر اساس فاصله خود به نزدیک‌ترین مرکز اختصاص پیدا می‌کند. پس از آن، مرکز هر خوشه مجدداً محاسبه می‌شود و نمونه‌ها دوباره بر اساس مراکز جدید دسته‌بندی می‌شوند. این فرایند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تغییر مراکز یا معیار خطا به مقدار قابل قبول برسد K-Means. [46] به دلیل سادگی و سرعت مناسب، در تحلیل داده‌های بزرگ

کاربرد دارد. از کاربردهای آن می‌توان به بخش‌بندی مشتریان، تحلیل رفتار کاربران، دسته‌بندی اسناد، تحلیل تصاویر و کشف الگوهای پنهان در داده‌ها اشاره کرد. یکی از محدودیت‌های اصلی آن نیز نیاز به تعیین تعداد خوشه‌ها پیش از اجرای الگوریتم است.

## ۸-۶-۲ الگوریتم‌های تکاملی

الگوریتم‌های تکاملی یا Evolutionary Algorithms مجموعه‌ای از روش‌های محاسباتی هستند که از مفاهیم تکامل طبیعی، انتخاب و بقا برای حل مسائل بهینه‌سازی و جست‌وجوی راه‌حل مناسب استفاده می‌کنند. در این روش‌ها، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های احتمالی به‌عنوان یک جمعیت در نظر گرفته شده و طی نسل‌های مختلف، راه‌حل‌های مناسب‌تر انتخاب و ترکیب می‌شوند. یکی از معروف‌ترین الگوریتم‌های این گروه، الگوریتم ژنتیک یا Genetic Algorithm است. در این روش، راه‌حل‌ها به‌عنوان افراد یک جمعیت در نظر گرفته می‌شوند و عملیات‌هایی مانند انتخاب، ترکیب و جهش برای تولید نسل جدید انجام می‌شود. میزان مناسب بودن هر راه‌حل نیز با استفاده از تابع شایستگی ارزیابی می‌شود. الگوریتم‌های تکاملی در مسائلی مانند بهینه‌سازی، انتخاب ویژگی، زمان‌بندی، مسیریابی، طراحی مهندسی و تنظیم پارامترهای مدل‌های هوش مصنوعی کاربرد دارند. مزیت مهم این روش‌ها توانایی جست‌وجو در فضاها پیچیده و بزرگ است؛ اما در برخی مسائل ممکن است برای رسیدن به راه‌حل مناسب به تکرارها و محاسبات زیادی نیاز داشته باشند.

## ۷-۲ شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی یا Artificial Neural Networks (ANNs) از مهم‌ترین مدل‌های مورد استفاده در هوش مصنوعی و یادگیری ماشین هستند. این شبکه‌ها از مجموعه‌ای از واحدهای محاسباتی به نام نورون مصنوعی تشکیل می‌شوند که از طریق اتصالات مختلف به یکدیگر متصل شده‌اند. ساختار شبکه به آن امکان می‌دهد روابط میان داده‌های ورودی و خروجی را یاد بگیرد و برای داده‌های جدید پیش‌بینی انجام دهد. [47] شبکه عصبی مصنوعی از لایه‌های مختلفی تشکیل می‌شود و هر لایه وظیفه پردازش بخشی از اطلاعات را بر عهده دارد. در فرایند آموزش، وزن اتصالات شبکه به‌گونه‌ای تنظیم می‌شوند که خطای میان خروجی پیش‌بینی شده و خروجی واقعی کاهش یابد. این فرایند معمولاً با استفاده از روش‌هایی مانند پس‌انتشار خطا و الگوریتم‌های بهینه‌سازی انجام می‌شود. شبکه‌های عصبی در حوزه‌هایی مانند طبقه‌بندی، پیش‌بینی، تشخیص تصویر، پردازش زبان طبیعی، تشخیص گفتار و تحلیل داده‌های پیچیده کاربرد دارند. توسعه شبکه‌های عصبی چندلایه، زمینه شکل‌گیری روش‌های یادگیری عمیق را فراهم کرده است. [47]

### ۲-۷-۱ مفهوم شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یک مدل محاسباتی است که از تعداد زیادی نورون مصنوعی تشکیل شده و برای یادگیری الگوها و روابط موجود در داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر نورون اطلاعات ورودی را دریافت کرده، ورودی‌ها را با وزن‌های مشخص ترکیب می‌کند و پس از اعمال تابع فعال‌سازی، خروجی خود را به نورون‌های لایه بعد منتقل می‌کند. [47]

یکی از مراحل اصلی آموزش شبکه عصبی، محاسبه میزان خطای خروجی و اصلاح وزن‌های شبکه است. در روش پس‌انتشار خطا، خطای ایجادشده در خروجی شبکه به سمت لایه‌های قبلی منتقل می‌شود و وزن‌ها با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اصلاح می‌شوند. این فرایند به صورت تکراری انجام می‌شود تا عملکرد شبکه به سطح مطلوب برسد. توانایی شبکه‌های عصبی در یادگیری روابط غیرخطی و پیچیده، یکی از دلایل اصلی استفاده گسترده از آن‌ها در سامانه‌های هوش مصنوعی است.

### ۲-۷-۲ ساختار نورون مصنوعی

نورون مصنوعی ساده‌ترین واحد محاسباتی یک شبکه عصبی است. این واحد چندین ورودی دریافت می‌کند که هر کدام دارای وزن مشخصی هستند. سپس ورودی‌های وزن‌دهی شده با یکدیگر ترکیب شده و مقدار بایاس نیز به نتیجه اضافه می‌شود. مقدار حاصل از طریق یک تابع فعال‌سازی پردازش شده و خروجی نورون تولید می‌شود. [47]

ساختار کلی یک نورون مصنوعی را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

ورودی‌ها  $\leftarrow$  وزن‌ها  $\leftarrow$  جمع وزنی + بایاس  $\leftarrow$  تابع فعال‌سازی  $\leftarrow$  خروجی

تابع فعال‌سازی برای ایجاد قابلیت یادگیری روابط غیرخطی در شبکه اهمیت زیادی دارد. از توابع فعال‌سازی رایج می‌توان به Sigmoid، Tanh و ReLU اشاره کرد. در شبکه‌های عصبی جدید، انتخاب معماری، تابع فعال‌سازی، روش بهینه‌سازی و سایر پارامترهای آموزش می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد مدل داشته باشد. [47]

### ۲-۷-۳ لایه‌های شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی معمولاً از سه نوع لایه اصلی تشکیل می‌شوند: لایه ورودی، لایه‌های پنهان و لایه خروجی.

لایه ورودی

لایه ورودی اولین بخش شبکه عصبی است و داده‌های اولیه را دریافت می‌کند. تعداد ورودی‌های این لایه معمولاً به تعداد ویژگی‌های مورد استفاده در مسئله وابسته است. برای مثال، اگر یک مدل بر اساس چند ویژگی عددی آموزش داده شود، این ویژگی‌ها به عنوان ورودی شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### لایه‌های پنهان

لایه‌های پنهان بین لایه ورودی و خروجی قرار دارند و عملیات اصلی پردازش و استخراج الگو در آن‌ها انجام می‌شود. شبکه‌های ساده ممکن است یک یا چند لایه پنهان داشته باشند، در حالی که شبکه‌های عمیق از تعداد بیشتری لایه استفاده می‌کنند. افزایش تعداد لایه‌ها می‌تواند امکان یادگیری ویژگی‌های پیچیده‌تر را فراهم کند؛ با این حال، مدل‌های عمیق‌تر معمولاً به داده آموزشی، توان محاسباتی و روش‌های مناسب آموزش نیاز بیشتری دارند. [47]

### لایه خروجی

لایه خروجی آخرین لایه شبکه است و نتیجه نهایی را ارائه می‌کند. ساختار این لایه به نوع مسئله بستگی دارد. در طبقه‌بندی دودسته‌ای، خروجی می‌تواند احتمال تعلق نمونه به یکی از دو کلاس باشد؛ در طبقه‌بندی چندکلاسه نیز می‌توان خروجی‌های متعددی برای کلاس‌های مختلف در نظر گرفت. در مجموع، جریان اطلاعات در شبکه عصبی از لایه ورودی به لایه‌های پنهان و سپس به لایه خروجی انجام می‌شود. شبکه با تنظیم وزن‌های موجود در این مسیر می‌تواند روابط پیچیده میان داده‌ها را یاد بگیرد و برای مسائل مختلف پیش‌بینی و طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گیرد. [47]

### ۴-۷-۲ توابع فعال‌سازی

توابع فعال‌سازی یا Activation Functions یکی از اجزای اساسی شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند که تعیین می‌کنند خروجی هر نورون چگونه بر اساس مجموع ورودی‌های وزن‌دهی شده محاسبه شود. استفاده از تابع فعال‌سازی باعث می‌شود شبکه عصبی بتواند روابط غیرخطی و پیچیده میان داده‌های ورودی و خروجی را یاد بگیرد. بدون وجود این توابع، حتی شبکه‌ای با چندین لایه نیز در بسیاری از مسائل به یک تبدیل خطی محدود می‌شود و توانایی آن برای مدل‌سازی روابط پیچیده کاهش می‌یابد. [46] از توابع فعال‌سازی پرکاربرد می‌توان به Sigmoid، Tanh و ReLU اشاره کرد. تابع Sigmoid خروجی را در محدوده صفر تا یک قرار می‌دهد و در برخی مسائل طبقه‌بندی دودویی کاربرد دارد. تابع Tanh خروجی را در محدوده منفی یک تا یک قرار می‌دهد و نسبت به Sigmoid دارای مرکزیت صفر است. تابع ReLU نیز در شبکه‌های عصبی عمیق کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد؛ زیرا محاسبات ساده‌ای دارد و در بسیاری از شرایط به آموزش مؤثرتر شبکه کمک می‌کند. [46] انتخاب تابع فعال‌سازی مناسب به نوع شبکه، نوع مسئله و ساختار خروجی بستگی دارد. در شبکه‌های عمیق، استفاده نامناسب از تابع فعال‌سازی می‌تواند موجب مشکلاتی مانند کاهش گرادیان و دشواری در فرایند آموزش شود. به همین دلیل، انتخاب تابع فعال‌سازی یکی از عوامل مهم در طراحی معماری شبکه‌های عصبی محسوب می‌شود.

## ۵-۷-۲ آموزش شبکه عصبی

آموزش شبکه عصبی فرایندی است که طی آن شبکه با استفاده از داده‌های آموزشی، وزن‌ها و پارامترهای داخلی خود را به گونه‌ای تنظیم می‌کند که بتواند خروجی مناسب را برای ورودی‌های مختلف تولید کند. در ابتدای آموزش، وزن‌های شبکه معمولاً مقادیر اولیه دارند و خروجی اولیه مدل ممکن است با مقدار واقعی اختلاف زیادی داشته باشد. با تکرار فرایند آموزش، این اختلاف کاهش پیدا می‌کند. [46]

فرایند آموزش معمولاً شامل چند مرحله اصلی است. ابتدا داده‌های ورودی به شبکه داده می‌شوند و خروجی مدل محاسبه می‌شود. سپس خروجی پیش‌بینی شده با مقدار واقعی مقایسه شده و تابع خطا مقدار اختلاف را مشخص می‌کند. در مرحله بعد، میزان تأثیر هر وزن بر خطای ایجادشده محاسبه می‌شود و وزن‌ها به کمک الگوریتم بهینه‌سازی اصلاح می‌شوند. [46]

به‌طور کلی، فرایند آموزش شبکه عصبی را می‌توان به شکل زیر خلاصه کرد:

داده آموزشی ← انتشار رو به جلو ← محاسبه خروجی ← محاسبه خطا ← انتشار خطا به عقب  
← اصلاح وزن‌ها ← تکرار فرایند

تعداد دفعات تکرار آموزش، اندازه دسته‌های داده، نرخ یادگیری، تابع خطا و الگوریتم بهینه‌سازی از عوامل مؤثر بر کیفیت آموزش شبکه هستند. هدف نهایی، دستیابی به مدلی است که علاوه بر عملکرد مناسب روی داده‌های آموزشی، بتواند روی داده‌های جدید نیز عملکرد قابل قبول داشته باشد. این موضوع با مفهوم تعمیم‌پذیری مدل ارتباط مستقیم دارد. [47]

## ۶-۷-۲ الگوریتم پس‌انتشار خطا

پس‌انتشار خطا یا Backpropagation یکی از الگوریتم‌های اصلی مورد استفاده برای آموزش شبکه‌های عصبی است. در این روش، ابتدا داده‌ها از لایه ورودی به سمت لایه خروجی حرکت می‌کنند و خروجی شبکه محاسبه می‌شود. سپس خطای میان خروجی پیش‌بینی شده و مقدار واقعی محاسبه شده و این خطا از سمت خروجی به سمت لایه‌های قبلی شبکه منتقل می‌شود. [46] هدف اصلی پس‌انتشار خطا، محاسبه گرادیان تابع خطا نسبت به وزن‌های مختلف شبکه است. این اطلاعات به الگوریتم بهینه‌سازی کمک می‌کند تا مشخص کند هر وزن باید تا چه اندازه و در چه جهتی تغییر کند. در نتیجه، وزن‌های شبکه به صورت تدریجی اصلاح شده و عملکرد مدل بهبود پیدا می‌کند. فرایند کلی پس‌انتشار خطا شامل انتشار رو به جلو، محاسبه خطا، محاسبه گرادیان، انتقال خطا به لایه‌های قبلی و به‌روزرسانی وزن‌ها است. این فرایند در طول آموزش بارها تکرار می‌شود تا مقدار خطای مدل کاهش پیدا کند. [46] پس‌انتشار خطا به‌تنهایی یک الگوریتم کامل برای انتخاب وزن‌های نهایی نیست؛ بلکه معمولاً در کنار روش‌هایی مانند گرادیان کاهشی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش نقش بنیادی در آموزش شبکه‌های عصبی چندلایه و مدل‌های یادگیری عمیق داشته است.

## ۸-۲ یادگیری عمیق

یادگیری عمیق یا Deep Learning یکی از مهم‌ترین شاخه‌های یادگیری ماشین است که از شبکه‌های عصبی دارای چندین لایه برای یادگیری الگوهای پیچیده از داده‌ها استفاده می‌کند. تفاوت مهم یادگیری عمیق با بسیاری از روش‌های سنتی یادگیری ماشین، توانایی آن در یادگیری خودکار ویژگی‌ها از داده‌های خام است. به همین دلیل، این روش در پردازش تصویر، صوت، متن و سایر داده‌های پیچیده کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. [47] رشد یادگیری عمیق به عواملی مانند افزایش حجم داده‌های دیجیتال، توسعه پردازنده‌های قدرتمند و پیشرفت معماری‌های شبکه عصبی وابسته بوده است. این عوامل امکان آموزش مدل‌هایی با تعداد زیادی پارامتر را فراهم کرده‌اند و باعث افزایش عملکرد هوش مصنوعی در بسیاری از مسائل شده‌اند. [47]

### ۸-۲-۱ مفهوم یادگیری عمیق

یادگیری عمیق رویکردی در یادگیری ماشین است که در آن مدل‌های دارای چندین لایه پردازشی برای استخراج تدریجی ویژگی‌ها و الگوهای موجود در داده‌ها استفاده می‌شوند. در این مدل‌ها، لایه‌های ابتدایی معمولاً ویژگی‌های ساده‌تر را شناسایی می‌کنند و لایه‌های بعدی می‌توانند ترکیبات پیچیده‌تر این ویژگی‌ها را یاد بگیرند. [47] برای مثال، در پردازش تصویر، لایه‌های ابتدایی شبکه ممکن است الگوهای ساده مانند لبه‌ها و تغییرات شدت را شناسایی کنند، در حالی که لایه‌های عمیق‌تر می‌توانند ساختارهای پیچیده‌تر مانند شکل اشیاء یا اجزای آن‌ها را تشخیص دهند. این قابلیت، یادگیری عمیق را برای مسائل پیچیده‌ای که داده‌های زیادی در اختیار دارند، مناسب کرده است. یادگیری عمیق در حوزه‌هایی مانند بینایی ماشین، پردازش زبان طبیعی، تشخیص گفتار، رباتیک، سیستم‌های توصیه‌گر و هوش مصنوعی مولد استفاده می‌شود. توسعه مدل‌های بنیادین و مدل‌های زبانی بزرگ نیز تا حد زیادی بر پیشرفت معماری‌های یادگیری عمیق استوار است. [47]

### ۸-۲-۲ شبکه‌های عصبی کانولوشنی

شبکه عصبی کانولوشنی یا Convolutional Neural Network (CNN) یکی از معماری‌های مهم یادگیری عمیق است که به‌طور ویژه برای پردازش داده‌های دارای ساختار مکانی، به‌خصوص تصاویر، توسعه یافته است. این شبکه با استفاده از عملیات کانولوشن می‌تواند الگوهای موجود در بخش‌های مختلف تصویر را استخراج کند. در یک شبکه کانولوشنی، فیلترها یا هسته‌های مختلف روی بخش‌های مختلف داده حرکت می‌کنند و ویژگی‌هایی را استخراج می‌کنند. در لایه‌های ابتدایی، ویژگی‌های ساده‌تر مانند لبه‌ها و بافت‌ها قابل شناسایی هستند و در لایه‌های عمیق‌تر، ویژگی‌های پیچیده‌تر استخراج می‌شوند. [47] یکی از مزایای CNN این است که نیاز به استخراج دستی بسیاری از ویژگی‌های تصویری را کاهش می‌دهد. به

همین دلیل، این معماری در تشخیص اشیا، طبقه‌بندی تصاویر، تشخیص چهره، تحلیل تصاویر پزشکی و سیستم‌های بینایی ماشین کاربرد گسترده‌ای دارد.

### ۳-۸-۲ شبکه‌های عصبی بازگشتی

شبکه عصبی بازگشتی یا **Recurrent Neural Network (RNN)** نوعی معماری شبکه عصبی است که برای پردازش داده‌های ترتیبی و وابسته به زمان طراحی شده است. ویژگی مهم این شبکه، استفاده از اطلاعات مراحل قبلی برای پردازش ورودی فعلی است. بنابراین، برخلاف شبکه‌های کاملاً پیش‌خور، RNN می‌تواند نوعی وابستگی میان عناصر یک دنباله را در فرایند پردازش لحاظ کند. [47] این ویژگی باعث شده است شبکه‌های بازگشتی در مسائلی مانند پردازش زبان طبیعی، تشخیص گفتار، تحلیل سری‌های زمانی و پیش‌بینی داده‌های ترتیبی مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، شبکه‌های RNN در یادگیری وابستگی‌های بسیار طولانی با مشکلاتی مانند کاهش یا انفجار گرادیان مواجه می‌شوند. توسعه معماری‌هایی مانند **LSTM** و **GRU** تا حد زیادی برای مقابله با این محدودیت‌ها انجام شده است.

### ۴-۸-۲ شبکه‌های LSTM

شبکه حافظه بلندکوتاه مدت یا **Long Short-Term Memory (LSTM)** نوعی شبکه عصبی بازگشتی است که برای یادگیری وابستگی‌های طولانی‌تر در داده‌های ترتیبی طراحی شده است. LSTM با استفاده از ساختار داخلی ویژه خود می‌تواند اطلاعات مهم را برای مدت طولانی‌تری حفظ کرده و اطلاعات غیرضروری را حذف کند. ساختار LSTM شامل اجزایی است که معمولاً با عنوان دروازه ورودی، دروازه فراموشی و دروازه خروجی شناخته می‌شوند. این دروازه‌ها تعیین می‌کنند چه اطلاعاتی وارد حافظه شود، چه اطلاعاتی حذف شود و چه اطلاعاتی به خروجی منتقل گردد. این ساختار به شبکه کمک می‌کند مشکل کاهش گرادیان در شبکه‌های بازگشتی معمولی را بهتر مدیریت کند. [47]

**LSTM** در کاربردهایی مانند پیش‌بینی سری‌های زمانی، تشخیص گفتار، پردازش زبان طبیعی، ترجمه ماشینی و تحلیل داده‌های ترتیبی مورد استفاده قرار گرفته است. با وجود توسعه معماری‌های جدیدتر، LSTM همچنان از نظر تاریخی و علمی یکی از معماری‌های مهم در تحول شبکه‌های عصبی برای داده‌های ترتیبی محسوب می‌شود.

### ۵-۸-۲ معماری Transformer

معماری **Transformer** یکی از مهم‌ترین معماری‌های یادگیری عمیق است که نقش اساسی در توسعه پردازش زبان طبیعی و مدل‌های زبانی جدید داشته است. این معماری بر پایه سازوکار توجه یا **Attention** طراحی شده و برخلاف شبکه‌های بازگشتی، برای پردازش اطلاعات یک دنباله الزاماً به پردازش

ترتیبی مرحله به مرحله وابسته نیست. این ویژگی امکان پردازش موازی داده‌ها و استفاده مؤثرتر از منابع محاسباتی را فراهم می‌کند. [51] یکی از مهم‌ترین اجزای Transformer، Self-Attention است. این سازوکار به مدل اجازه می‌دهد هنگام پردازش هر بخش از ورودی، میزان ارتباط آن با سایر بخش‌های ورودی را محاسبه کند. در نتیجه، مدل می‌تواند وابستگی میان کلمات یا عناصر مختلف یک دنباله را حتی در فاصله‌های زیاد شناسایی کند. [51] معماری Transformer معمولاً از مجموعه‌ای از بلوک‌های تکرارشونده تشکیل می‌شود که در آن‌ها سازوکار توجه، شبکه پیش‌خور، اتصالات باقی‌مانده و نرمال‌سازی لایه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. توسعه این معماری زمینه‌ساز شکل‌گیری بسیاری از مدل‌های زبانی بزرگ و مدل‌های مولد امروزی شده است. [52] از مزایای مهم Transformer می‌توان به پردازش موازی، توانایی مدل‌سازی وابستگی‌های بلندمدت و قابلیت مقیاس‌پذیری اشاره کرد. این معماری امروزه در تولید متن، ترجمه ماشینی، پاسخ‌گویی به پرسش‌ها، تولید کد و بسیاری از کاربردهای هوش مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. [52]

## ۹-۲ هوش مصنوعی مولد

هوش مصنوعی مولد یا Generative Artificial Intelligence یکی از حوزه‌های مهم و در حال توسعه هوش مصنوعی است که هدف آن ایجاد محتوای جدید بر اساس الگوهایی است که مدل از داده‌های آموزشی یاد گرفته است. این محتوا می‌تواند شامل متن، تصویر، صدا، ویدئو و کد رایانه‌ای باشد. [53] گسترش مدل‌های مولد و مدل‌های بنیادین در سال‌های اخیر باعث شده است هوش مصنوعی مولد از یک موضوع پژوهشی تخصصی به یکی از فناوری‌های مهم در حوزه علوم کامپیوتر و صنعت تبدیل شود. گزارش AI Index نیز رشد قابل توجه سرمایه‌گذاری و توسعه مدل‌های مولد را در سال‌های اخیر نشان می‌دهد. [54]

### ۹-۲-۱ مفهوم هوش مصنوعی مولد

هوش مصنوعی مولد به مجموعه‌ای از مدل‌ها و سامانه‌های هوش مصنوعی گفته می‌شود که قادرند بر اساس ورودی یا درخواست کاربر، محتوای جدید تولید کنند. تفاوت اصلی این سامانه‌ها با بسیاری از مدل‌های سنتی هوش مصنوعی در این است که هدف آن‌ها فقط طبقه‌بندی، تشخیص یا پیش‌بینی یک مقدار مشخص نیست، بلکه می‌توانند خروجی جدید و متناسب با ورودی ایجاد کنند. [53] مدل‌های مولد ابتدا با استفاده از حجم زیادی از داده‌ها آموزش می‌بینند و الگوهای موجود در داده‌ها را یاد می‌گیرند. سپس هنگام دریافت یک ورودی جدید، بر اساس اطلاعات آموخته‌شده خروجی تولید می‌کنند. کیفیت خروجی به معماری مدل، داده‌های آموزشی، روش آموزش و نحوه ارائه ورودی بستگی دارد. [53] امروزه هوش مصنوعی مولد در حوزه‌هایی مانند تولید محتوا، آموزش، برنامه‌نویسی، طراحی، تولید تصویر، پردازش زبان طبیعی و تحلیل اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۹-۲-۲ مدل‌های مولد

مدل‌های مولد مدلهایی هستند که برای یادگیری الگوها و ساختارهای موجود در داده‌ها آموزش داده می‌شوند و پس از آموزش می‌توانند نمونه‌های جدیدی تولید کنند. مدل‌های مولد را می‌توان بر اساس نوع داده و معماری مورد استفاده به گروه‌های مختلفی تقسیم کرد. از مهم‌ترین خانواده‌های مدل‌های مولد می‌توان به مدل‌های زبانی، شبکه‌های مولد تخصصی، خودرمزگذارهای تغییرپذیر و مدل‌های انتشار اشاره کرد. هر کدام از این معماری‌ها برای تولید انواع خاصی از داده‌ها مناسب هستند. [53]

در سال‌های اخیر، مدل‌های مبتنی بر Transformer و مدل‌های انتشار نقش مهمی در توسعه سامانه‌های تولید متن و تصویر داشته‌اند. مدل‌های زبانی بزرگ نیز نمونه مهمی از مدل‌های مولدی هستند که می‌توانند بر اساس ورودی متنی، محتوای زبانی جدید تولید کنند. [52]

### ۳-۹-۲ مدل‌های زبانی بزرگ

مدل‌های زبانی بزرگ یا Large Language Models (LLMs) نوعی مدل یادگیری عمیق هستند که معمولاً با حجم بسیار زیادی از داده‌های متنی آموزش داده می‌شوند و توانایی انجام طیف گسترده‌ای از وظایف زبانی را دارند. بسیاری از مدل‌های زبانی بزرگ امروزی بر اساس معماری Transformer ساخته شده‌اند. [52] این مدل‌ها با یادگیری روابط آماری و الگوهای موجود در داده‌های زبانی می‌توانند وظایفی مانند تولید متن، خلاصه‌سازی، ترجمه، پاسخ‌گویی به پرسش‌ها، استخراج اطلاعات و تولید کد را انجام دهند. [52] یکی از ویژگی‌های مهم LLM ها تعداد بسیار زیاد پارامترهای آن‌ها و استفاده از مجموعه داده‌های گسترده در مرحله آموزش است. پیشرفت این مدل‌ها باعث شده است کاربرد هوش مصنوعی در بسیاری از فعالیت‌های مرتبط با علوم کامپیوتر توسعه پیدا کند. [54] با وجود قابلیت‌های گسترده، مدل‌های زبانی بزرگ ممکن است با محدودیت‌هایی مانند تولید اطلاعات نادرست، سوگیری داده‌ای، مشکلات مربوط به حریم خصوصی و دشواری ارزیابی صحت برخی خروجی‌ها مواجه شوند. به همین دلیل، استفاده مسئولانه و ارزیابی خروجی این مدل‌ها اهمیت زیادی دارد. [53]

### ۴-۹-۲ تولید متن

تولید متن یکی از شناخته‌شده‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی مولد است. در این کاربرد، مدل با دریافت یک ورودی متنی یا دستور کاربر، محتوای جدیدی تولید می‌کند. مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند بر اساس متن ورودی، ادامه متن، پاسخ به پرسش، خلاصه، ترجمه یا محتوای ساختاریافته تولید کنند. [52] در سامانه‌های تولید متن، مدل معمولاً با توجه به متن موجود، احتمال توکن‌ها یا واحدهای زبانی بعدی را تخمین می‌زند و بر اساس این احتمالات، خروجی را به صورت مرحله‌ای تولید می‌کند. کیفیت متن تولیدشده به معماری مدل، داده‌های آموزشی و روش تنظیم و استفاده از مدل وابسته است. کاربردهای تولید متن شامل تولید محتوای آموزشی، خلاصه‌سازی اسناد، ترجمه، پاسخ‌گویی خودکار، دستیارهای هوشمند و تولید گزارش است. با این حال، خروجی تولیدشده باید از نظر صحت اطلاعات و تناسب با هدف موردنظر بررسی شود. [53]

تولید تصویر یکی دیگر از کاربردهای مهم هوش مصنوعی مولد است که در آن مدل می‌تواند بر اساس یک متن یا تصویر ورودی، تصویر جدید تولید یا تصویر موجود را تغییر دهد. مدل‌های مولد تصویر در سال‌های اخیر پیشرفت قابل توجهی داشته‌اند و به یکی از حوزه‌های مهم پژوهش در هوش مصنوعی تبدیل شده‌اند. [54] یکی از روش‌های مهم در این حوزه، مدل‌های انتشار یا Diffusion Models هستند. این مدل‌ها با فرایندی تدریجی می‌توانند از یک وضعیت نویزی به سمت تولید یک تصویر منسجم حرکت کنند. در سامانه‌های Text-to-Image، متن کاربر به عنوان ورودی استفاده شده و مدل تلاش می‌کند تصویری متناسب با مفهوم توصیف شده ایجاد کند. تولید تصویر کاربردهایی مانند طراحی گرافیکی، تبلیغات، طراحی صنعتی، تولید محتوای دیجیتال، آموزش و هنر دارد. در کنار این کاربردها، موضوعاتی مانند حقوق مالکیت فکری، اصالت محتوا و تشخیص تصاویر تولید شده توسط هوش مصنوعی نیز اهمیت پیدا کرده‌اند [53].

#### ۶-۹-۲ تولید و تکمیل کد

تولید و تکمیل کد یکی از کاربردهای مهم هوش مصنوعی مولد در علوم کامپیوتر است. در این کاربرد، مدل‌های زبانی بزرگ با استفاده از داده‌های برنامه‌نویسی آموزش داده می‌شوند و می‌توانند بر اساس توضیح متنی، بخشی از یک برنامه یا کد مورد نیاز را تولید کنند. [52] این سامانه‌ها قادرند در فعالیت‌هایی مانند تکمیل خودکار کد، تولید توابع، توضیح کد، تبدیل کد، شناسایی خطا و پیشنهاد راه‌حل‌های برنامه‌نویسی به توسعه‌دهندگان کمک کنند. پیشرفت مدل‌های مولد در این حوزه باعث شده است ابزارهای هوش مصنوعی به بخشی از فرایند توسعه نرم‌افزار تبدیل شوند. [54] با وجود مزایای این فناوری، کد تولید شده همیشه بدون خطا یا از نظر امنیتی قابل اعتماد نیست. بنابراین، برنامه‌نویس باید کد تولید شده را بررسی، آزمایش و اعتبارسنجی کند. گزارش‌های جدید درباره عملکرد مدل‌های هوش مصنوعی در آزمون‌های برنامه‌نویسی نیز نشان‌دهنده پیشرفت سریع این مدل‌ها در حل مسائل کدنویسی است، هرچند همچنان محدودیت‌هایی وجود دارد. [54]

### ۱۰-۲ مطالعات و پژوهش‌های پیشین

مطالعات انجام شده در حوزه هوش مصنوعی نشان می‌دهد که این حوزه در سال‌های اخیر از روش‌های کلاسیک یادگیری ماشین به سمت مدل‌های عمیق، معماری‌های مبتنی بر Transformer و سامانه‌های هوش مصنوعی مولد حرکت کرده است. پژوهش‌های مروری جدید، علاوه بر بررسی مبانی یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، بر کاربردهای گسترده این روش‌ها در بینایی ماشین، پردازش زبان طبیعی، تشخیص گفتار و سایر حوزه‌های علوم کامپیوتر تأکید دارند [57] [58]. همچنین، ظهور مدل‌های زبانی بزرگ و مدل‌های مولد، مسیر جدیدی را در پژوهش‌های هوش مصنوعی ایجاد کرده است [59] [60]

در ایران نیز پژوهش‌های متعددی در زمینه هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و کاربردهای آن انجام شده است. بخش قابل توجهی از مطالعات داخلی بر بررسی ظرفیت‌های هوش مصنوعی در حوزه‌هایی مانند علوم پزشکی، آموزش، صنعت، کشاورزی، پردازش زبان فارسی، تشخیص الگو و تحلیل داده‌ها تمرکز داشته‌اند. یکی از ویژگی‌های مهم مطالعات داخلی، توجه روزافزون به استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی برای حل مسائل تخصصی است. در این مطالعات، روش‌هایی مانند درخت تصمیم، ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های خوشه‌بندی برای تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که انتخاب الگوریتم مناسب باید متناسب با نوع داده، حجم داده، ویژگی‌های مسئله و هدف پژوهش انجام شود. در سال‌های اخیر، توجه پژوهشگران ایرانی به هوش مصنوعی مولد و مدل‌های زبانی بزرگ نیز افزایش یافته است. این موضوع در کنار فرصت‌های ایجاد شده توسط مدل‌های مولد، مسائلی مانند صحت اطلاعات، حریم خصوصی، امنیت داده‌ها، سوگیری الگوریتمی و نحوه استفاده مسئولانه از هوش مصنوعی را نیز مطرح کرده است. بررسی‌های سیاستی و علمی داخلی در سال‌های اخیر نیز بر ضرورت توسعه زیرساخت‌های فنی، پژوهشی و انسانی برای استفاده مؤثر از هوش مصنوعی تأکید دارند. [61] با وجود توسعه مطالعات داخلی، بخش قابل توجهی از پژوهش‌های انجام شده در ایران به یک الگوریتم، یک کاربرد یا یک حوزه تخصصی محدود می‌شوند. بنابراین، نیاز به مطالعات جامع‌تری که مبانی هوش مصنوعی، روش‌های یادگیری، الگوریتم‌های اصلی، شبکه‌های عصبی، یادگیری عمیق، Transformer و هوش مصنوعی مولد را در یک چارچوب منسجم بررسی کنند، همچنان وجود دارد.

## ۲-۱۰-۲ مطالعات انجام شده در خارج از ایران

در مطالعات بین‌المللی، پژوهش‌های گسترده‌ای برای بررسی تحول روش‌های هوش مصنوعی و کاربردهای آن انجام شده است. یکی از حوزه‌های مهم این مطالعات، یادگیری عمیق است. پژوهش‌های مروری منتشر شده در سال ۲۰۲۱، معماری‌های مختلف یادگیری عمیق از جمله شبکه‌های عصبی کانولوشنی، شبکه‌های بازگشتی و سایر مدل‌های عمیق را بررسی کرده و کاربردهای آن‌ها را در زمینه‌هایی مانند بینایی ماشین و پردازش زبان طبیعی مورد توجه قرار داده‌اند [57]. [58] [مطالعات بعدی به شکل گسترده‌تری به معماری Transformer پرداخته‌اند. پژوهش‌های مروری نشان می‌دهند که Transformer از زمان معرفی خود به یکی از معماری‌های مهم در پردازش زبان طبیعی تبدیل شده و در طیف گسترده‌ای از کاربردهای زبانی مورد استفاده قرار گرفته است [59]. همچنین مطالعات جامع‌تر، استفاده از Transformer را در وظایف مختلف یادگیری عمیق بررسی کرده‌اند و قابلیت مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری این معماری را از عوامل مهم گسترش آن دانسته‌اند. [60] در حوزه مدل‌های زبانی بزرگ نیز پژوهش‌های جدید نشان می‌دهند که افزایش حجم مدل، داده‌های آموزشی و توان محاسباتی موجب توسعه قابلیت‌های گسترده این مدل‌ها شده است. مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند در وظایف مختلف پردازش

زبان طبیعی، تولید محتوا، خلاصه‌سازی، ترجمه، پاسخ‌گویی و تولید کد مورد استفاده قرار گیرند. [62]

همچنین مطالعات سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ نشان‌دهنده گسترش سریع هوش مصنوعی مولد هستند. پژوهش‌های مروری در این حوزه، مدل‌های مولد را در کاربردهایی مانند تولید متن، تولید تصویر، پردازش زبان طبیعی و تولید محتوای چندرسانه‌ای بررسی کرده‌اند [63]. [64] [در کنار توسعه کاربردها، مطالعات بین‌المللی به محدودیت‌های هوش مصنوعی مولد نیز توجه کرده‌اند. یکی از موضوعات مهم، تولید اطلاعات نادرست یا Hallucination است که در مدل‌های تولید متن می‌تواند باعث ایجاد خروجی‌های ظاهراً معتبر اما نادرست شود. [65]

### ۳-۱۰-۲ مقایسه مطالعات پیشین

مقایسه مطالعات انجام‌شده در ایران و خارج از ایران نشان می‌دهد که هر دو گروه مطالعات، بر اهمیت هوش مصنوعی و روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق تأکید دارند؛ با این حال، تفاوت‌هایی در گستره و جهت‌گیری پژوهش‌ها مشاهده می‌شود. در مطالعات داخلی، تمرکز بسیاری از پژوهش‌ها بر کاربرد هوش مصنوعی برای حل یک مسئله مشخص است. به عنوان مثال، یک الگوریتم مشخص ممکن است برای تشخیص، طبقه‌بندی یا پیش‌بینی در یک حوزه تخصصی مورد بررسی قرار گیرد. این مطالعات از نظر کاربردی اهمیت زیادی دارند، اما معمولاً همه نسل‌های روش‌های هوش مصنوعی را در کنار یکدیگر بررسی نمی‌کنند. در مقابل، مطالعات بین‌المللی جدیدتر، علاوه بر الگوریتم‌های کلاسیک، به موضوعاتی مانند یادگیری عمیق، Transformer، مدل‌های بنیادین، مدل‌های زبانی بزرگ، هوش مصنوعی مولد و مدل‌های چندوجهی توجه بیشتری نشان داده‌اند [59] [62]. [63] [از نظر زمانی نیز می‌توان مشاهده کرد که پژوهش‌های قدیمی‌تر بیشتر بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی تمرکز داشته‌اند، در حالی که مطالعات جدیدتر به سمت مدل‌های عمیق، Transformer و هوش مصنوعی مولد حرکت کرده‌اند. بنابراین، روند کلی مطالعات نشان‌دهنده حرکت از روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های دستی و الگوریتم‌های کلاسیک به سمت مدل‌های عمیق و مدل‌های مولد مقیاس‌پذیر است

| مطالعات خارجی                       | مطالعات داخلی                   | محور مقایسه              |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| توسعه و مقایسه الگوریتم‌های پیشرفته | کاربرد گسترده در مسائل تخصصی    | یادگیری ماشین            |
| توسعه معماری‌ها و روش‌های جدید      | تمرکز بر کاربردهای مشخص         | یادگیری عمیق             |
| توسعه معماری‌های عمیق و تخصصی       | استفاده در طبقه‌بندی و پیش‌بینی | شبکه‌های عصبی            |
| حوزه گسترده پژوهش و توسعه           | حوزه پژوهشی نسبتاً جدید         | Transformer              |
| پژوهش و توسعه گسترده                | در حال توسعه                    | مدل‌های زبانی بزرگ       |
| یکی از محورهای اصلی پژوهش‌های جدید  | حوزه نوظهور                     | هوش مصنوعی مولد          |
| مطالعات گسترده‌تر و نظام‌مندتر      | توجه رو به افزایش               | چالش‌های اخلاقی و امنیتی |

با بررسی مطالعات پیشین، مشخص می‌شود که اگرچه پژوهش‌های متعددی در زمینه هوش مصنوعی انجام شده است، اما همچنان برخی خلأهای پژوهشی وجود دارد. نخستین خلأ، پراکنده بودن مطالعات است؛ به این معنا که بسیاری از پژوهش‌ها تنها یک بخش از هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین، یادگیری عمیق یا پردازش زبان طبیعی را بررسی کرده‌اند و ارتباط میان این حوزه‌ها را به صورت یکپارچه مورد توجه قرار نداده‌اند. خلأ دوم، سرعت بالای تحول هوش مصنوعی است. در سال‌های اخیر، Transformer، مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی مولد با سرعت زیادی توسعه یافته‌اند و بخشی از مطالعات قدیمی‌تر نمی‌توانند وضعیت جدید این فناوری را به طور کامل پوشش دهند [59]. [62] [خلا سوم، نیاز به بررسی هم‌زمان روش‌ها، الگوریتم‌ها، معماری‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر است. بسیاری از مطالعات بر عملکرد یک الگوریتم خاص تمرکز دارند، درحالی‌که برای شناخت جامع این حوزه، مقایسه روش‌های مختلف و بررسی جایگاه هر روش در حل مسائل مختلف علوم کامپیوتر ضروری است. خلأ دیگر به هوش مصنوعی مولد مربوط می‌شود. مطالعات جدید نشان داده‌اند که این حوزه علاوه بر قابلیت‌های گسترده، با چالش‌هایی مانند قابلیت اعتماد، حریم خصوصی، امنیت، سوگیری، توضیح‌پذیری و تولید اطلاعات نادرست مواجه است [63]. [65] [بنابراین، بررسی هوش مصنوعی تنها از منظر قابلیت‌های فنی کافی نیست و باید محدودیت‌ها و چالش‌های آن نیز مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس، پژوهش حاضر تلاش می‌کند با رویکردی جامع، هوش مصنوعی، روش‌های یادگیری، الگوریتم‌های مهم، شبکه‌های عصبی، یادگیری عمیق، Transformer، هوش مصنوعی مولد و کاربردهای آن‌ها در علوم کامپیوتر را در یک چارچوب منسجم بررسی کند. این رویکرد می‌تواند خلأ موجود میان مطالعات پراکنده درباره روش‌ها و کاربردهای مختلف هوش مصنوعی را تا حدی پوشش دهد.

## ۱۱-۲ جمع‌بندی فصل دوم

در این فصل، مبانی نظری و مطالعات پیشین مرتبط با هوش مصنوعی بررسی شد. ابتدا روند تحول هوش مصنوعی و مفاهیم اساسی آن مورد توجه قرار گرفت و سپس شاخه‌های اصلی این حوزه شامل یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، پردازش گفتار، رباتیک و سیستم‌های خبره بررسی شدند. در ادامه، روش‌های مختلف یادگیری ماشین شامل یادگیری نظارت‌شده، بدون نظارت، نیمه‌نظارتی و تقویتی و الگوریتم‌های مهمی مانند رگرسیون، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، K-Means و KNN معرفی شدند. سپس ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی، توابع فعال‌سازی، آموزش شبکه و الگوریتم پس‌انتشار خطا مورد بررسی قرار گرفت. بخش دیگری از فصل به یادگیری عمیق اختصاص داشت و معماری‌هایی مانند CNN، RNN، LSTM و Transformer بررسی شدند. در ادامه، مفهوم هوش مصنوعی مولد، مدل‌های مولد، مدل‌های زبانی بزرگ و کاربردهای آن در تولید متن، تصویر و کد مورد توجه قرار گرفت. بررسی پژوهش‌های پیشین نشان داد که مطالعات هوش مصنوعی در سال‌های اخیر از تمرکز بر الگوریتم‌های سنتی به سمت مدل‌های عمیق، Transformer، مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی مولد حرکت کرده‌اند [57] [59] [62] [63] [در نهایت، بررسی مطالعات

داخلی و خارجی نشان داد که با وجود حجم گسترده پژوهش‌ها، همچنان نیاز به مطالعه‌ای جامع وجود دارد که روش‌ها، الگوریتم‌ها، معماری‌های نوین و کاربردهای هوش مصنوعی را به صورت یکپارچه و با تمرکز بر علوم کامپیوتر بررسی کند. این خلأ، مبنای اصلی ادامه پژوهش حاضر در فصل‌های بعدی خواهد بود.

## فصل سوم: روش تحقیق و تحلیل روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی

## ۳-۱ مقدمه

روش تحقیق، چارچوبی نظام‌مند برای انجام پژوهش و دستیابی به اهداف تعیین شده است. با توجه به موضوع پژوهش حاضر با عنوان «بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر»، تحقیق حاضر ماهیتی عمدتاً توصیفی، تحلیلی و مروری دارد و بر مطالعه و تحلیل منابع علمی معتبر در زمینه هوش مصنوعی تمرکز می‌کند. در این پژوهش تلاش شده است مفاهیم بنیادی هوش مصنوعی، روش‌های یادگیری ماشین، الگوریتم‌های مهم، شبکه‌های عصبی مصنوعی، یادگیری عمیق، معماری Transformer، هوش مصنوعی مولد و کاربردهای آن‌ها در علوم کامپیوتر به صورت منظم بررسی و تحلیل شوند. با توجه به ماهیت موضوع، پژوهش حاضر شامل آزمایش آزمایشگاهی یا اجرای یک سامانه نرم‌افزاری مستقل نیست؛ بلکه اطلاعات موردنیاز از طریق مطالعه منابع علمی، مقالات پژوهشی، کتاب‌ها، گزارش‌های تخصصی و پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر گردآوری شده و سپس مطالب مرتبط دسته‌بندی، مقایسه و تحلیل شده‌اند. انتخاب منابع و تحلیل آن‌ها نیز بر اساس ارتباط مستقیم با موضوع، اعتبار علمی، تاریخ انتشار و به‌روز بودن اطلاعات انجام شده است. [69]

## ۳-۲ روش انجام تحقیق

پژوهش حاضر از نظر روش انجام، کتابخانه‌ای و مروری است. در روش کتابخانه‌ای، پژوهشگر با مراجعه به منابع علمی و پایگاه‌های اطلاعاتی، اطلاعات موردنیاز را گردآوری و پس از بررسی و ارزیابی، مطالب مرتبط با موضوع پژوهش را استخراج می‌کند. فرایند انجام این پژوهش در چند مرحله صورت گرفته است. ابتدا موضوع و محورهای اصلی پژوهش مشخص شد. سپس برای هر محور، کلیدواژه‌های مناسب مانند Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, Neural Networks, Transformer, Generative AI و Large Language Models تعیین شد. در مرحله بعد، جست‌وجوی منابع علمی مرتبط در پایگاه‌های معتبر انجام گرفت. پس از گردآوری منابع، منابع بر اساس میزان ارتباط با موضوع و اعتبار علمی بررسی شدند و منابع مناسب انتخاب گردیدند. سپس اطلاعات استخراج شده بر اساس موضوع دسته‌بندی شده و ارتباط میان مفاهیم، روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفت. در مرحله نهایی، یافته‌های حاصل از مطالعات در قالب فصل‌های مختلف پایان‌نامه سازمان‌دهی شدند. ساختار کلی فرایند تحقیق را می‌توان به شکل زیر بیان کرد:

تعیین موضوع → تعیین اهداف و پرسش‌ها → تعیین کلیدواژه‌ها → جست‌وجوی منابع → غربالگری منابع → استخراج اطلاعات → دسته‌بندی مطالب → مقایسه و تحلیل → جمع‌بندی یافته‌ها

این فرایند باعث شده است مطالب پژوهش از یک ساختار منظم برخوردار بوده و ارتباط میان بخش‌های مختلف هوش مصنوعی به‌صورت یکپارچه بررسی شود.

### ۳-۳ رویکرد پژوهش

رویکرد اصلی پژوهش حاضر توصیفی - تحلیلی است. در بخش توصیفی، مفاهیم، روش‌ها، الگوریتم‌ها و فناوری‌های مرتبط با هوش مصنوعی بر اساس منابع علمی معتبر معرفی و تشریح شده‌اند. در بخش تحلیلی نیز ویژگی‌ها، قابلیت‌ها، محدودیت‌ها و کاربردهای روش‌های مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. از نظر ماهیت نیز پژوهش حاضر را می‌توان یک مطالعه مروری دانست؛ زیرا هدف اصلی آن جمع‌آوری و ترکیب دانش موجود درباره هوش مصنوعی و ارائه تصویری منسجم از روند تحول، روش‌ها و کاربردهای این حوزه است. [70] در این رویکرد، صرفاً مطالب منابع مختلف گردآوری نشده، بلکه تلاش شده است ارتباط میان روش‌های سنتی یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی، یادگیری عمیق، Transformer و هوش مصنوعی مولد نیز مورد توجه قرار گیرد. به این ترتیب، پژوهش حاضر علاوه بر معرفی مفاهیم، روند تحول فناوری‌های هوش مصنوعی و جایگاه هر یک از روش‌ها را در علوم کامپیوتر بررسی می‌کند.

### ۳-۴ روش گردآوری اطلاعات

اطلاعات موردنیاز پژوهش به روش مطالعه کتابخانه‌ای و جست‌وجوی منابع الکترونیکی گردآوری شده است. برای این منظور، مقالات علمی، کتاب‌ها، گزارش‌های تخصصی، اسناد علمی و منابع منتشرشده توسط مؤسسات معتبر بررسی شده‌اند. جست‌وجوی منابع با استفاده از کلیدواژه‌های فارسی و انگلیسی مرتبط با موضوع انجام شده است. برخی از مهم‌ترین کلیدواژه‌های مورد استفاده عبارت‌اند از:

- هوش مصنوعی
- یادگیری ماشین
- یادگیری عمیق

| ردیف | کلیدواژه فارسی       | کلیدواژه انگلیسی                   |
|------|----------------------|------------------------------------|
| ۱    | هوش مصنوعی           | Artificial Intelligence            |
| ۲    | یادگیری ماشین        | Machine Learning                   |
| ۳    | یادگیری عمیق         | Deep Learning                      |
| ۴    | شبکه عصبی مصنوعی     | Artificial Neural Networks         |
| ۵    | پردازش زبان طبیعی    | Natural Language Processing        |
| ۶    | بینایی ماشین         | Computer Vision                    |
| ۷    | ترنسفورمر            | Transformer                        |
| ۸    | هوش مصنوعی مولد      | Generative Artificial Intelligence |
| ۹    | مدل‌های زبانی بزرگ   | Large Language Models              |
| ۱۰   | هوش مصنوعی           | Artificial Intelligence            |
| ۱۱   | یادگیری ماشین        | Machine Learning                   |
| ۱۲   | یادگیری عمیق         | Deep Learning                      |
| ۱۳   | شبکه‌های عصبی مصنوعی | Artificial Neural Networks         |
| ۱۴   | پردازش زبان طبیعی    | Natural Language Processing        |
| ۱۵   | بینایی ماشین         | Computer Vision                    |
| ۱۶   | ترنسفورمر            | Transformer                        |
| ۱۷   | هوش مصنوعی مولد      | Generative Artificial Intelligence |
| ۱۸   | مدل‌های زبانی بزرگ   | Large Language Models              |

پس از جست‌وجو، عنوان، چکیده، روش تحقیق، یافته‌ها و نتیجه‌گیری منابع بررسی شده و اطلاعات مرتبط با موضوع استخراج گردید. سپس مطالب استخراج‌شده بر اساس محورهای اصلی پژوهش طبقه‌بندی شدند.

### ۵-۳ منابع و پایگاه‌های اطلاعاتی مورد استفاده

برای افزایش اعتبار علمی پژوهش، از پایگاه‌ها و منابع علمی معتبر استفاده شده است. مهم‌ترین منابع اطلاعاتی مورد استفاده عبارت‌اند از:

Google Scholar: برای جست‌وجوی مقالات، کتاب‌ها و پژوهش‌های علمی مرتبط با هوش مصنوعی.

IEEE Xplore: برای دسترسی به مقالات و مطالعات تخصصی در زمینه علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و مهندسی نرم‌افزار.

ScienceDirect: برای دسترسی به مقالات منتشرشده در مجلات علمی معتبر در حوزه علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی.

SpringerLink: برای بررسی مقالات و کتاب‌های علمی مرتبط با الگوریتم‌ها، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق.

ACM Digital Library: برای دسترسی به پژوهش‌های تخصصی علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی و فناوری‌های نرم‌افزاری.

arXiv: برای بررسی پژوهش‌های جدید و پیش‌انتشار شده در حوزه‌هایی مانند یادگیری عمیق، مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی مولد. پایگاه‌های علمی فارسی: برای شناسایی و بررسی پژوهش‌ها و مطالعات انجام‌شده در ایران. استفاده از چندین پایگاه اطلاعاتی موجب شده است دامنه جست‌وجوی منابع افزایش یافته و پژوهش تنها به یک پایگاه یا یک دیدگاه علمی محدود نشود.

## ۳-۶ معیار انتخاب منابع

با توجه به گستردگی منابع موجود در حوزه هوش مصنوعی، انتخاب منابع بر اساس معیارهای مشخص انجام شده است. نخستین معیار، ارتباط مستقیم منبع با موضوع پژوهش بوده است؛ به این معنا که منبع انتخاب‌شده باید حداقل یکی از محورهای اصلی پژوهش، مانند یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی، Transformer، هوش مصنوعی مولد یا کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر را پوشش دهد. معیار دوم، اعتبار علمی منبع بوده است. مقالات منتشر شده در مجلات و کنفرانس‌های علمی معتبر، کتاب‌های تخصصی، گزارش‌های مؤسسات علمی و اسناد سازمان‌های معتبر در اولویت قرار گرفته‌اند. [69] معیار سوم، تاریخ انتشار است. با توجه به دستورالعمل تعیین‌شده برای این پژوهش، منابع اصلی مورد استفاده در بخش مطالعات جدید از سال ۲۰۲۱ میلادی به بعد و منابع فارسی از سال ۱۴۰۱ شمسی به بعد انتخاب شده‌اند. این موضوع به‌خصوص در بخش‌هایی مانند Transformer، مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی مولد اهمیت دارد؛ زیرا این حوزه‌ها در سال‌های اخیر با سرعت زیادی توسعه یافته‌اند. معیار چهارم، دسترسی به اطلاعات کامل و قابل بررسی است. منابعی که مشخصات کتاب‌شناختی، نویسندگان، عنوان، سال انتشار و اطلاعات انتشار مشخصی داشته باشند، در اولویت قرار گرفته‌اند. همچنین منابعی که مطالب آن‌ها با چند منبع معتبر دیگر قابل تطبیق بوده و از نظر علمی اعتبار بیشتری داشته‌اند، در تدوین مباحث پژوهش مورد توجه قرار گرفته‌اند. در نهایت، اطلاعات منابع انتخاب‌شده پس از بررسی و مقایسه، در بخش‌های مختلف پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته و مطابق شیوه‌نامه دانشگاه با شماره مشخص در داخل متن ارجاع داده شده‌اند.

## ۳-۷ مراحل انجام پژوهش

پژوهش حاضر با هدف بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر، در چند مرحله اصلی انجام شده است. ابتدا موضوع پژوهش و اهداف اصلی آن مشخص گردید. سپس بر اساس محورهای پژوهش، کلیدواژه‌های فارسی و انگلیسی مرتبط با هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی مصنوعی، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، Transformer، هوش مصنوعی مولد و مدل‌های زبانی بزرگ تعیین شد. در مرحله دوم، جست‌وجوی منابع علمی مرتبط در

پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر انجام گرفت. در این مرحله مقالات علمی، کتاب‌ها، گزارش‌های تخصصی و منابع علمی منتشر شده در زمینه موضوع پژوهش بررسی شدند. با توجه به معیار تعیین شده در پژوهش، منابع جدیدتر از سال ۲۰۲۱ میلادی و منابع فارسی از سال ۱۴۰۱ شمسی در اولویت قرار گرفتند. در مرحله سوم، منابع جمع‌آوری شده بر اساس ارتباط با موضوع، اعتبار علمی، سال انتشار و میزان استفاده از آن‌ها در پژوهش غربال شدند. منابعی که ارتباط مستقیم با موضوع نداشتند یا اطلاعات کافی و قابل استناد ارائه نمی‌کردند، از فرایند تحلیل کنار گذاشته شدند. در مرحله چهارم، اطلاعات استخراج شده از منابع بر اساس محورهای اصلی پژوهش دسته‌بندی شد. این محورها شامل مفاهیم بنیادی هوش مصنوعی، روش‌های یادگیری ماشین، الگوریتم‌های مهم، شبکه‌های عصبی مصنوعی، یادگیری عمیق، معماری Transformer، هوش مصنوعی مولد و کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر بود. در مرحله پنجم، الگوریتم‌ها و روش‌های مختلف از نظر معیارهایی مانند دقت، سرعت پردازش، پیچیدگی محاسباتی، میزان داده مورد نیاز، قابلیت تعمیم، تفسیرپذیری و هزینه محاسباتی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. در مرحله ششم، کاربردهای مختلف هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر بررسی و ارتباط هر روش با مسائل مختلف این حوزه تحلیل شد. در نهایت، یافته‌های حاصل از مطالعات با یکدیگر مقایسه و نتایج اصلی پژوهش استخراج و سازمان‌دهی گردیدند [71].69]

فرایند کلی پژوهش:

تعیین موضوع و اهداف ← تعیین کلیدواژه‌ها ← جست‌وجوی منابع ← انتخاب و غربالگری منابع  
 ← استخراج اطلاعات ← دسته‌بندی اطلاعات ← تحلیل و مقایسه الگوریتم‌ها ← بررسی کاربردها  
 جمع‌بندی و ارائه نتایج

### ۳-۸ چارچوب تحلیل الگوریتم‌های هوش مصنوعی

برای مقایسه و تحلیل الگوریتم‌های مختلف هوش مصنوعی، استفاده از یک چارچوب مشخص ضروری است. عملکرد یک الگوریتم را نمی‌توان تنها بر اساس دقت آن ارزیابی کرد؛ زیرا عواملی مانند زمان پردازش، حجم داده مورد نیاز، پیچیدگی محاسباتی، قابلیت تعمیم، تفسیرپذیری و منابع سخت‌افزاری مورد نیاز نیز در انتخاب الگوریتم مناسب تأثیرگذار هستند. در پژوهش حاضر، الگوریتم‌های مورد بررسی بر اساس هفت معیار اصلی تحلیل می‌شوند. این معیارها امکان مقایسه منظم الگوریتم‌های یادگیری ماشین و روش‌های یادگیری عمیق را فراهم می‌کنند و کمک می‌کنند مشخص شود هر الگوریتم برای چه نوع مسئله‌ای مناسب‌تر است [71].70]

#### ۳-۸-۱ معیار دقت

دقت یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های هوش مصنوعی است و میزان موفقیت مدل در انجام وظیفه مورد نظر را نشان می‌دهد. بسته به نوع مسئله، معیارهای مختلفی مانند Accuracy،

Root Mean Square Error، Mean Absolute Error، F1-Score، Recall، Precision

می‌توانند برای ارزیابی عملکرد مدل مورد استفاده قرار گیرند. در مسائل طبقه‌بندی، دقت و سایر معیارهای مرتبط برای بررسی میزان صحیح بودن پیش‌بینی‌های مدل استفاده می‌شوند. در مسائل پیش‌بینی عددی نیز معیارهایی مانند میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا کاربرد بیشتری دارند. بنابراین، انتخاب معیار دقت باید متناسب با نوع مسئله و داده‌های مورد بررسی انجام شود و نمی‌توان یک معیار واحد را برای تمام الگوریتم‌های هوش مصنوعی مناسب دانست. [70]

## ۳-۸-۲ سرعت پردازش

سرعت پردازش نشان‌دهنده میزان زمانی است که الگوریتم برای آموزش مدل یا تولید خروجی نیاز دارد. این معیار به‌ویژه در سامانه‌هایی که نیازمند پاسخ سریع هستند اهمیت زیادی دارد. برخی الگوریتم‌های کلاسیک یادگیری ماشین می‌توانند با منابع محاسباتی محدود در مدت زمان نسبتاً کوتاهی آموزش داده شوند، درحالی‌که مدل‌های عمیق و مدل‌های بزرگ هوش مصنوعی ممکن است برای آموزش به زمان و منابع پردازشی بسیار بیشتری نیاز داشته باشند. سرعت پردازش در کاربردهایی مانند تشخیص بلادرنگ، سامانه‌های هوشمند، رباتیک، پردازش تصویر و سیستم‌های تعاملی اهمیت ویژه‌ای دارد.

## ۳-۸-۳ پیچیدگی محاسباتی

پیچیدگی محاسباتی میزان منابع محاسباتی موردنیاز الگوریتم را با افزایش حجم داده یا اندازه مسئله نشان می‌دهد. الگوریتم‌هایی که پیچیدگی محاسباتی بالاتری دارند، با افزایش حجم داده معمولاً به زمان پردازش و منابع بیشتری نیاز خواهند داشت. بررسی پیچیدگی محاسباتی به پژوهشگر کمک می‌کند تا الگوریتم مناسب را متناسب با اندازه داده و توان پردازشی موجود انتخاب کند. این موضوع در مدل‌های یادگیری عمیق و معماری‌های بزرگ اهمیت بیشتری پیدا می‌کند؛ زیرا تعداد پارامترها و عملیات محاسباتی می‌تواند بسیار زیاد باشد. [71]

## ۳-۸-۴ میزان داده مورد نیاز

یکی از تفاوت‌های مهم میان الگوریتم‌های مختلف هوش مصنوعی، میزان داده موردنیاز برای آموزش مؤثر است. برخی الگوریتم‌های کلاسیک می‌توانند با مجموعه داده‌های نسبتاً کوچک عملکرد قابل قبولی داشته باشند، درحالی‌که بسیاری از مدل‌های یادگیری عمیق برای دستیابی به عملکرد مناسب به حجم زیادی از داده‌های آموزشی نیاز دارند. کیفیت داده نیز در کنار حجم آن اهمیت دارد. داده‌های ناقص، نامتوازن یا دارای خطا می‌توانند عملکرد مدل را کاهش دهند. از این رو، آماده‌سازی، پاک‌سازی و انتخاب داده مناسب بخش مهمی از فرایند توسعه سامانه‌های هوش مصنوعی محسوب می‌شود. [71]

### ۵-۸-۳ قابلیت تعمیم

**قابلیت تعمیم** به توانایی مدل برای عملکرد مناسب روی داده‌هایی گفته می‌شود که در فرایند آموزش مدل مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. یک مدل زمانی از قابلیت تعمیم مطلوب برخوردار است که بتواند الگوهای واقعی موجود در داده‌ها را یاد بگیرد و صرفاً داده‌های آموزشی را حفظ نکند. یکی از مشکلات مهم در یادگیری ماشین، **بیش‌برازش** یا **Overfitting** است. در این حالت مدل عملکرد بسیار خوبی روی داده‌های آموزشی دارد، اما هنگام مواجهه با داده‌های جدید عملکرد آن کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، ارزیابی مدل با داده‌های آزمون و اعتبارسنجی مناسب برای بررسی قابلیت تعمیم ضروری است.

### ۶-۸-۳ تفسیرپذیری

**تفسیرپذیری** به میزان امکان درک و توضیح فرایند تصمیم‌گیری یک مدل هوش مصنوعی اشاره دارد. در برخی الگوریتم‌ها مانند درخت تصمیم، ساختار تصمیم‌گیری نسبتاً ساده و قابل درک است؛ اما در شبکه‌های عصبی عمیق و مدل‌های بسیار بزرگ، توضیح دقیق علت ایجاد یک خروجی می‌تواند دشوارتر باشد. اهمیت تفسیرپذیری به نوع کاربرد نیز وابسته است. در حوزه‌هایی که تصمیم مدل تأثیر مهمی بر انسان دارد، مانند پزشکی، امور مالی و برخی سامانه‌های تصمیم‌گیری، امکان توضیح و بررسی تصمیم‌های مدل اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

### ۷-۸-۳ هزینه محاسباتی

**هزینه محاسباتی** به میزان منابع سخت‌افزاری و انرژی موردنیاز برای آموزش، اجرا و نگهداری مدل اشاره دارد. این هزینه می‌تواند شامل توان پردازنده، حافظه، استفاده از GPU، فضای ذخیره‌سازی، زمان پردازش و مصرف انرژی باشد. مدل‌های بزرگ یادگیری عمیق و هوش مصنوعی مولد معمولاً به منابع محاسباتی بیشتری نسبت به بسیاری از الگوریتم‌های کلاسیک نیاز دارند. بنابراین، هنگام انتخاب الگوریتم باید علاوه بر دقت، هزینه محاسباتی و امکانات سخت‌افزاری موجود نیز در نظر گرفته شود. [71]

در نتیجه، چارچوب ارزیابی مورد استفاده در این پژوهش به‌صورت زیر است:

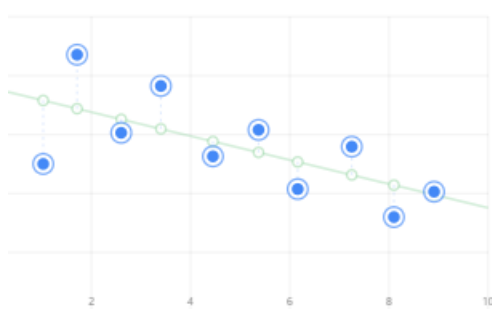
| اهمیت در انتخاب الگوریتم | مفهوم کلی                      | معیار ارزیابی       |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------|
| بسیار زیاد               | میزان صحت عملکرد مدل           | دقت                 |
| زیاد                     | زمان آموزش و تولید خروجی       | سرعت پردازش         |
| زیاد                     | میزان عملیات محاسباتی موردنیاز | پیچیدگی محاسباتی    |
| زیاد                     | حجم داده لازم برای آموزش مؤثر  | میزان داده موردنیاز |
| بسیار زیاد               | عملکرد روی داده‌های جدید       | قابلیت تعمیم        |
| زیاد                     | امکان توضیح تصمیم‌های مدل      | تفسیرپذیری          |
| زیاد                     | منابع سخت‌افزاری، زمان و انرژی | هزینه محاسباتی      |

## ۳-۹ تحلیل الگوریتم‌های یادگیری ماشین

در این بخش، مهم‌ترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین که در فصل دوم معرفی شدند، از منظر عملکرد، نوع مسئله، مزایا، محدودیت‌ها، میزان داده موردنیاز، تفسیرپذیری و هزینه محاسباتی بررسی می‌شوند. هدف از این تحلیل، صرفاً معرفی الگوریتم‌ها نیست، بلکه مشخص کردن نقاط قوت و ضعف هر روش و شرایط مناسب استفاده از آن در مسائل علوم کامپیوتر است. انتخاب الگوریتم مناسب به عواملی مانند نوع داده، حجم داده، پیچیدگی مسئله، هدف پیش‌بینی و منابع محاسباتی بستگی دارد [72]. [73]

### ۳-۹-۱ تحلیل رگرسیون خطی

رگرسیون خطی یکی از روش‌های پایه و پرکاربرد یادگیری ماشین برای پیش‌بینی متغیرهای پیوسته است. در این روش، تلاش می‌شود رابطه میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته با استفاده از یک تابع خطی مدل‌سازی شود. سادگی ساختار رگرسیون خطی باعث شده است این روش علاوه بر استفاده مستقیم برای پیش‌بینی، به‌عنوان یک مدل پایه برای مقایسه عملکرد سایر الگوریتم‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد.



$$\hat{y} = b_0 + b_1 x$$

$$\hat{y} = 7.57 - 0.41x$$

$R^2 = 0.44$  · عرض از مبدأ =  $b_1$  · شیب ·  
حداقل مربعات، مجذور فاصله‌های باقیمانده عمودی  
را کمینه می‌کند.

یکی از مهم‌ترین مزایای رگرسیون خطی، سادگی، سرعت پردازش و تفسیرپذیری مناسب آن است. در شرایطی که رابطه میان متغیرها تقریباً خطی باشد، این الگوریتم می‌تواند عملکرد مناسبی ارائه دهد. همچنین به دلیل نیاز نسبتاً کم به منابع محاسباتی، برای مجموعه‌داده‌های کوچک و متوسط مناسب است. با این حال، رگرسیون خطی در مسائل دارای روابط بسیار پیچیده و غیرخطی محدودیت دارد. همچنین وجود داده‌های پرت و هم‌خطی شدید میان متغیرهای مستقل می‌تواند عملکرد آن را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، این الگوریتم بیشتر برای مسائلی مناسب است که ساختار رابطه میان متغیرها قابل توصیف با یک مدل خطی باشد. [72]

### ۳-۹-۲ تحلیل درخت تصمیم

درخت تصمیم یکی از الگوریتم‌های مهم یادگیری ماشین است که می‌تواند برای مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون مورد استفاده قرار گیرد. ساختار این الگوریتم شبیه یک درخت است که در آن گره‌های داخلی نشان‌دهنده تصمیم‌گیری بر اساس ویژگی‌های داده، شاخه‌ها نشان‌دهنده نتایج تصمیم‌ها و برگ‌ها بیانگر خروجی نهایی هستند. مهم‌ترین ویژگی درخت تصمیم، تفسیرپذیری بالا است. برخلاف برخی مدل‌های پیچیده، مسیر تصمیم‌گیری در یک درخت را می‌توان به صورت قابل فهم دنبال کرد. این ویژگی باعث می‌شود درخت تصمیم برای کاربردهایی که توضیح فرایند تصمیم‌گیری اهمیت دارد، مناسب باشد. از مزایای دیگر آن می‌توان به توانایی کار با داده‌های عددی و طبقه‌ای و نیاز نسبتاً کم به پیش‌پردازش اشاره کرد. با این حال، اگر درخت بیش از حد رشد کند، احتمال بیش‌برازش افزایش می‌یابد. استفاده از محدودیت‌هایی مانند حداکثر عمق درخت و هرس کردن می‌تواند به کنترل این مشکل کمک کند. [73]

### ۳-۹-۳ تحلیل جنگل تصادفی

جنگل تصادفی یا Random Forest یک روش یادگیری گروهی است که از مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم تشکیل می‌شود. در این روش، چندین درخت با استفاده از نمونه‌ها و ویژگی‌های متفاوت ساخته شده و نتایج آن‌ها برای تولید پیش‌بینی نهایی ترکیب می‌شوند. یکی از مزایای اصلی جنگل تصادفی، کاهش احتمال بیش‌برازش نسبت به یک درخت تصمیم منفرد و توانایی مناسب آن در مدل‌سازی روابط پیچیده است. این الگوریتم همچنین می‌تواند برای مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون مورد استفاده قرار گیرد. جنگل تصادفی معمولاً نسبت به درخت تصمیم منفرد از پایداری و دقت بیشتری برخوردار است، اما تعداد زیاد درخت‌ها می‌تواند هزینه محاسباتی و حافظه مورد نیاز را افزایش دهد. همچنین تفسیر مستقیم تصمیم نهایی آن نسبت به یک درخت تصمیم دشوارتر است. از نظر کاربردی، جنگل تصادفی برای بسیاری از مسائل تحلیل داده، طبقه‌بندی، پیش‌بینی و استخراج اهمیت ویژگی‌ها گزینه مناسبی محسوب می‌شود. [74].

### ۳-۹-۴ تحلیل ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان یا SVM الگوریتمی قدرتمند برای طبقه‌بندی و در برخی شرایط رگرسیون است. ایده اصلی آن یافتن یک مرز تصمیم مناسب میان گروه‌های مختلف داده است؛ به گونه‌ای که فاصله میان مرز تصمیم و نزدیک‌ترین نمونه‌های هر گروه بیشینه شود. یکی از ویژگی‌های مهم SVM استفاده از هسته‌ها یا Kernel برای مدل‌سازی روابط غیرخطی است. این ویژگی باعث می‌شود الگوریتم بتواند در مسائل پیچیده‌تر نیز مورد استفاده قرار گیرد. SVM، به‌ویژه در مجموعه داده‌های با تعداد نمونه نسبتاً محدود و تعداد ویژگی‌های زیاد می‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد. با این حال، انتخاب هسته و پارامترهای مناسب

در عملکرد آن تأثیر زیادی دارد و در مجموعه داده‌های بسیار بزرگ می‌تواند از نظر زمان و منابع محاسباتی پرهزینه باشد. [75]

### ۳-۹-۵ تحلیل K-Means

K-Means یکی از الگوریتم‌های شناخته شده یادگیری بدون نظارت است که برای خوشه‌بندی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این الگوریتم، داده‌ها بر اساس میزان شباهت به تعداد مشخصی از خوشه‌ها تقسیم می‌شوند. در فرایند K-Means ابتدا تعداد خوشه‌ها مشخص می‌شود. سپس نقاط اولیه به عنوان مراکز خوشه انتخاب شده و داده‌ها بر اساس فاصله از این مراکز به خوشه‌ها اختصاص می‌یابند. پس از آن، مراکز خوشه‌ها مجدداً محاسبه شده و این فرایند تا رسیدن به وضعیت پایدار ادامه پیدا می‌کند. مزایای K-Means می‌توان به سادگی، سرعت مناسب و پیاده‌سازی نسبتاً آسان اشاره کرد. با این حال، انتخاب مقدار K، حساسیت به مقداردهی اولیه و تأثیر داده‌های پرت از محدودیت‌های آن محسوب می‌شوند. این الگوریتم در کاربردهایی مانند تقسیم‌بندی داده‌ها، تحلیل رفتار کاربران، بخش‌بندی مشتریان، تشخیص الگو و تحلیل داده‌های بدون برچسب کاربرد دارد. [76]

### ۳-۱۰ تحلیل الگوریتم‌های یادگیری عمیق

یادگیری عمیق زیرمجموعه‌ای از یادگیری ماشین است که با استفاده از شبکه‌های عصبی چندلایه، امکان یادگیری الگوهای پیچیده از داده‌ها را فراهم می‌کند. برخلاف بسیاری از الگوریتم‌های سنتی که به استخراج دستی ویژگی‌ها وابستگی بیشتری دارند، مدل‌های عمیق می‌توانند بخش مهمی از فرایند استخراج ویژگی را به صورت خودکار انجام دهند. [77] مدل‌های یادگیری عمیق در سال‌های اخیر در حوزه‌هایی مانند بینایی ماشین، پردازش زبان طبیعی، تشخیص گفتار و تحلیل داده‌های پیچیده پیشرفت قابل توجهی داشته‌اند. البته آموزش این مدل‌ها معمولاً به داده و منابع محاسباتی بیشتری نسبت به بسیاری از الگوریتم‌های کلاسیک نیاز دارد [78].77]

#### ۳-۱۰-۱ شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یا Artificial Neural Network یکی از مهم‌ترین ساختارهای یادگیری عمیق است که با الهام کلی از نحوه پردازش اطلاعات در شبکه‌های عصبی زیستی طراحی شده است. این شبکه از تعدادی نورون مصنوعی تشکیل می‌شود که در لایه‌های مختلف سازمان‌دهی شده‌اند. یک شبکه عصبی معمولاً دارای لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و لایه خروجی است. داده‌ها از لایه ورودی وارد شبکه شده و پس از عبور از لایه‌های مختلف، خروجی نهایی تولید می‌شود. وزن‌ها و پارامترهای شبکه در فرایند آموزش به روزرسانی می‌شوند تا خطای پیش‌بینی کاهش پیدا کند. مزیت مهم شبکه‌های عصبی، توانایی آن‌ها در مدل‌سازی روابط پیچیده و غیرخطی است. به همین دلیل، این شبکه‌ها در طیف وسیعی از مسائل علوم کامپیوتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، شبکه‌های عصبی عمیق معمولاً به داده آموزشی زیاد، زمان آموزش بیشتر و منابع محاسباتی مناسب نیاز دارند. همچنین تفسیر تصمیم‌های

شبکه‌های عصبی عمیق در مقایسه با الگوریتم‌هایی مانند درخت تصمیم دشوارتر است و همین موضوع باعث شده است مسئله تفسیرپذیری در مدل‌های عمیق به یکی از موضوعات مهم پژوهشی تبدیل شود [78].77]

جدول مقایسه‌ای الگوریتم‌های تحلیل شده

| هزینه محاسباتی   | تفسیرپذیری | دقت بالقوه     | کاربرد اصلی                      | نوع یادگیری | الگوریتم            |
|------------------|------------|----------------|----------------------------------|-------------|---------------------|
| کم               | زیاد       | متوسط          | پیش‌بینی عددی                    | نظارت‌شده   | رگرسیون خطی         |
| کم تا متوسط      | زیاد       | متوسط تا زیاد  | طبقه‌بندی و رگرسیون              | نظارت‌شده   | درخت تصمیم          |
| متوسط            | متوسط      | زیاد           | طبقه‌بندی و رگرسیون              | نظارت‌شده   | جنگل تصادفی         |
| متوسط تا زیاد    | متوسط      | زیاد           | طبقه‌بندی و رگرسیون              | نظارت‌شده   | ماشین بردار پشتیبان |
| کم تا متوسط      | متوسط      | وابسته به داده | خوشه‌بندی                        | بدون نظارت  | K-Means             |
| زیاد کم تا متوسط | زیاد       | زیاد           | طبقه‌بندی، پیش‌بینی و تشخیص الگو | نظارت‌شده   | شبکه عصبی مصنوعی    |

## ۳-۱۰-۲ شبکه‌های عصبی کانولوشنی CNN

شبکه‌های عصبی کانولوشنی یا Convolutional Neural Networks (CNN) یکی از مهم‌ترین معماری‌های یادگیری عمیق هستند که به‌طور ویژه برای پردازش داده‌های دارای ساختار مکانی، به‌خصوص تصاویر، توسعه یافته‌اند. این شبکه‌ها با استفاده از عملیات کانولوشن می‌توانند ویژگی‌های مختلف موجود در داده را به‌صورت سلسله‌مراتبی استخراج کنند. در لایه‌های ابتدایی معمولاً ویژگی‌های ساده مانند لبه‌ها و الگوهای اولیه شناسایی می‌شوند و در لایه‌های عمیق‌تر، ویژگی‌های پیچیده‌تر و ساختارهای سطح بالاتر استخراج می‌گردند. [79]

CNN به دلیل توانایی بالا در استخراج خودکار ویژگی‌ها، در حوزه‌هایی مانند طبقه‌بندی تصاویر، تشخیص اشیاء، تشخیص چهره، تحلیل تصاویر پزشکی، بینایی ماشین و سیستم‌های خودکار کاربرد گسترده‌ای دارد. ساختار معمول این شبکه شامل لایه‌های کانولوشن، توابع فعال‌سازی، لایه‌های Pooling و در برخی معماری‌ها لایه‌های کاملاً متصل است. مهم‌ترین مزیت CNN کاهش نیاز به استخراج دستی ویژگی‌ها و توانایی یادگیری الگوهای پیچیده از داده‌های تصویری است. با این حال، آموزش مدل‌های بزرگ CNN می‌تواند به داده و منابع محاسباتی قابل توجهی نیاز داشته باشد.

## ۳-۱۰-۳ شبکه‌های عصبی بازگشتی RNN

شبکه‌های عصبی بازگشتی یا Recurrent Neural Networks (RNN) برای پردازش داده‌های ترتیبی و وابسته به زمان طراحی شده‌اند. برخلاف شبکه‌های عصبی معمولی که هر ورودی را به‌صورت

مستقل پردازش می‌کنند، RNN می‌تواند بخشی از اطلاعات ورودی‌های قبلی را در وضعیت داخلی خود نگهداری کند و از آن برای پردازش ورودی فعلی استفاده نماید. این ویژگی باعث شده است RNN در کاربردهایی مانند پردازش زبان طبیعی، تشخیص گفتار، تحلیل سری‌های زمانی و پیش‌بینی داده‌های ترتیبی مورد استفاده قرار گیرد. [80] یکی از محدودیت‌های مهم RNN، دشواری یادگیری وابستگی‌های بلندمدت در توالی‌های طولانی است. در فرایند آموزش، مشکل محوشدن یا انفجار گرادیان می‌تواند باعث شود اطلاعات مربوط به مراحل بسیار قبلی به خوبی حفظ نشود. معماری‌های پیشرفته‌تری مانند LSTM برای کاهش این مشکل توسعه یافته‌اند.

#### ۴-۱۰-۳ شبکه‌های LSTM

Long Short-Term Memory (LSTM) یکی از انواع شبکه‌های عصبی بازگشتی است که با هدف مدیریت بهتر وابستگی‌های بلندمدت در داده‌های ترتیبی طراحی شده است. ساختار LSTM از واحدهایی تشکیل شده که دارای سازوکارهای کنترلی برای تعیین میزان ورود، حفظ و خروج اطلاعات هستند. این ساختار به مدل اجازه می‌دهد اطلاعات مهم را برای مدت طولانی‌تری حفظ کرده و اطلاعات کم‌اهمیت را حذف کند. به همین دلیل، LSTM در مسائل مربوط به پردازش زبان طبیعی، تشخیص گفتار، پیش‌بینی سری‌های زمانی و تحلیل داده‌های متوالی کاربرد داشته است. [81] اگرچه LSTM نسبت به RNN ساده‌توانایی بیشتری در مدیریت وابستگی‌های بلندمدت دارد، اما ساختار پیچیده‌تر آن باعث افزایش تعداد محاسبات و زمان آموزش می‌شود. همچنین در بسیاری از کاربردهای جدید پردازش زبان، معماری Transformer جایگزین یا مکمل مهمی برای مدل‌های مبتنی بر RNN و LSTM شده است.

#### ۵-۱۰-۳ معماری Transformer

Transformer یکی از مهم‌ترین معماری‌های نوین در حوزه یادگیری عمیق است که ابتدا برای پردازش داده‌های ترتیبی و به‌ویژه ترجمه ماشینی معرفی شد. ویژگی اصلی Transformer استفاده از سازوکار Attention و به‌خصوص Self-Attention است که به مدل اجازه می‌دهد ارتباط میان بخش‌های مختلف یک توالی را به صورت مؤثر مورد بررسی قرار دهد. [82] برخلاف RNN و LSTM که داده‌های توالی را به صورت ترتیبی پردازش می‌کنند، Transformer امکان پردازش موازی بخش‌های مختلف توالی را فراهم می‌کند. این ویژگی موجب شد آموزش مدل‌های بزرگ‌تر و پردازش مجموعه داده‌های گسترده امکان‌پذیرتر شود. معماری Transformer پایه بسیاری از مدل‌های پیشرفته هوش مصنوعی امروزی است و در حوزه‌هایی مانند پردازش زبان طبیعی، ترجمه ماشینی، تولید متن، تولید کد، بینایی ماشین و هوش مصنوعی مولد مورد استفاده قرار گرفته است. از مهم‌ترین مزایای Transformer می‌توان به توانایی مدل‌سازی وابستگی‌های دور، پردازش موازی و قابلیت مقیاس‌پذیری بالا اشاره کرد. در مقابل، مدل‌های بزرگ Transformer معمولاً به داده، حافظه و توان محاسباتی زیادی نیاز دارند [82]. [83]

## ۱۱-۳ مقایسه الگوریتم‌ها

با توجه به بررسی الگوریتم‌ها و معماری‌های مختلف، هیچ الگوریتمی را نمی‌توان به صورت مطلق بهترین روش هوش مصنوعی دانست. عملکرد هر الگوریتم به نوع داده، هدف مسئله، حجم داده، پیچیدگی مسئله و منابع محاسباتی بستگی دارد. الگوریتم‌های کلاسیک مانند رگرسیون خطی، درخت تصمیم و K-Means معمولاً ساختار ساده‌تر و هزینه محاسباتی کمتری دارند. در مقابل، شبکه‌های عصبی عمیق مانند CNN، RNN، LSTM و Transformer قابلیت یادگیری الگوهای پیچیده‌تری را دارند، اما به منابع محاسباتی و داده بیشتری نیاز دارند.

| نیاز محاسباتی | تفسیرپذیری | پیچیدگی       | کاربرد اصلی          | نوع داده مناسب         | الگوریتم / معماری |
|---------------|------------|---------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| کم            | زیاد       | کم            | پیش‌بینی             | داده‌های عددی          | رگرسیون خطی       |
| کم            | زیاد       | کم تا متوسط   | طبقه‌بندی و رگرسیون  | عددی و طبقه‌ای         | درخت تصمیم        |
| متوسط         | متوسط      | متوسط         | طبقه‌بندی و رگرسیون  | داده‌های ساختاریافته   | جنگل تصادفی       |
| متوسط تا زیاد | متوسط      | متوسط تا زیاد | طبقه‌بندی            | داده‌های طبقه‌بندی‌شده | SVM               |
| کم            | متوسط      | کم تا متوسط   | خوشه‌بندی            | داده‌های بدون برچسب    | K-Means           |
| زیاد          | کم         | متوسط تا زیاد | پیش‌بینی و طبقه‌بندی | داده‌های مختلف         | ANN               |
| زیاد          | کم         | زیاد          | بینایی ماشین         | تصویر و داده مکانی     | CNN               |
| متوسط تا زیاد | کم         | متوسط تا زیاد | توالی و سری زمانی    | داده‌های ترتیبی        | RNN               |
| زیاد          | کم         | زیاد          | وابستگی بلندمدت      | داده‌های ترتیبی        | LSTM              |
| بسیار زیاد    | کم         | بسیار زیاد    | هوش مصنوعی NLP مولد  | متن، تصویر و توالی     | Transformer       |

## ۱۲-۳ معیارهای ارزیابی مدل‌های هوش مصنوعی

ارزیابی مدل‌های هوش مصنوعی یکی از مراحل اساسی در بررسی عملکرد آن‌ها است. انتخاب معیار مناسب به نوع مسئله بستگی دارد. برای مسائل طبقه‌بندی، معیارهایی مانند Accuracy، Precision، Recall و F1-Score کاربرد گسترده‌ای دارند، در حالی که برای مسائل رگرسیون، معیارهایی مانند Mean Squared Error مورد استفاده قرار می‌گیرند. [72]

### ۱۲-۱-۳ Accuracy

**Accuracy** یا صحت نشان دهنده نسبت پیش‌بینی‌های صحیح مدل به کل پیش‌بینی‌ها است. این معیار زمانی مناسب‌تر است که توزیع کلاس‌های داده نسبتاً متعادل باشد.

فرمول کلی **Accuracy** به صورت زیر است:

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{تعداد پیش‌بینی‌های صحیح}}{\text{تعداد کل پیش‌بینی‌ها}}$$

برای مثال، اگر مدل از میان ۱۰۰ نمونه، ۹۰ نمونه را به‌درستی طبقه‌بندی کند، مقدار **Accuracy** برابر با ۹۰ درصد خواهد بود.

با این حال، در مجموعه داده‌های نامتوازن، **Accuracy** به‌تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی عملکرد مدل باشد.

### Precision ۳-۱۲-۲

**Precision** یا دقت مثبت مشخص می‌کند از میان نمونه‌هایی که مدل آن‌ها را به‌عنوان یک کلاس مثبت پیش‌بینی کرده است، چه تعداد واقعاً مثبت بوده‌اند.

**Precision** به‌ویژه زمانی اهمیت دارد که کاهش پیش‌بینی‌های مثبت اشتباه اهمیت داشته باشد. برای مثال، در یک سامانه تشخیص، ممکن است هدف کاهش تعداد هشدارهای اشتباه باشد.

مقدار بالاتر **Precision** نشان می‌دهد مدل در پیش‌بینی نمونه‌های مثبت، خطای مثبت کاذب کمتری دارد.

### Recall ۳-۱۲-۳

**Recall** یا حساسیت نشان دهنده توانایی مدل در شناسایی نمونه‌های مثبت واقعی است. این معیار زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که از دست دادن نمونه‌های مثبت اهمیت زیادی داشته باشد.

برای مثال، در سیستم‌های تشخیص بیماری یا شناسایی تهدیدهای امنیتی، ممکن است عدم شناسایی یک نمونه مثبت پیامد مهمی داشته باشد. در چنین شرایطی افزایش **Recall** می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد.

### F1-Score ۳-۱۲-۴

**F1-Score** معیاری است که **Precision** و **Recall** را به‌صورت همزمان در نظر می‌گیرد. این معیار زمانی مفید است که بخواهیم میان کاهش خطاهای مثبت کاذب و منفی کاذب تعادل برقرار کنیم.

**F1-Score** به خصوص در مجموعه داده‌های نامتوازن می‌تواند نسبت به **Accuracy** اطلاعات مناسب‌تری درباره عملکرد مدل ارائه دهد.

هرچه مقدار **F1-Score** بیشتر باشد، نشان‌دهنده تعادل بهتر میان **Precision** و **Recall** است.

### ۵-۱۲-۳ Mean Squared Error

**Mean Squared Error** یا **MSE** یکی از معیارهای رایج برای ارزیابی مدل‌های رگرسیون است. این معیار میانگین مربع اختلاف میان مقدار واقعی و مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل را محاسبه می‌کند. مقدار کمتر **MSE** نشان‌دهنده خطای کمتر مدل در پیش‌بینی است. به دلیل توان دوم خطا، مقادیر خطای بزرگ تأثیر بیشتری بر مقدار نهایی **MSE** دارند. به همین دلیل، این معیار برای شناسایی مدل‌هایی که دارای خطاهای بزرگ هستند نیز مفید است. [72]

جدول جمع‌بندی معیارهای ارزیابی

| مقدار مطلوب | هدف اصلی                       | نوع مسئله | معیار     |
|-------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| بیشتر       | میزان پیش‌بینی صحیح            | طبقه‌بندی | Accuracy  |
| بیشتر       | کاهش مثبت کاذب                 | طبقه‌بندی | Precision |
| بیشتر       | شناسایی مثبت‌های واقعی         | طبقه‌بندی | Recall    |
| بیشتر       | Precision و Recall ایجاد تعادل | طبقه‌بندی | F1-Score  |
| کمتر        | اندازه‌گیری خطای پیش‌بینی      | رگرسیون   | MSE       |
|             |                                |           |           |

### ۱۳-۳ چالش‌های فنی الگوریتم‌های هوش مصنوعی

استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی با وجود قابلیت‌های گسترده، با چالش‌های فنی متعددی همراه است. کیفیت و حجم داده، منابع محاسباتی، بیش‌برازش، پیچیدگی مدل و تفسیرپذیری از مهم‌ترین عواملی هستند که می‌توانند بر عملکرد، دقت و قابلیت استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی تأثیر بگذارند. بنابراین، ارزیابی یک الگوریتم نباید تنها بر اساس میزان دقت آن انجام شود، بلکه مجموعه‌ای از عوامل فنی و عملیاتی باید مورد توجه قرار گیرد [85]. [86]

#### ۱-۱۳-۳ کیفیت داده

کیفیت داده یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی است. مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق الگوهای موجود در داده‌های آموزشی را یاد می‌گیرند؛ بنابراین اگر داده‌ها ناقص، نادرست، ناسازگار، نامتوازن یا دارای نویز باشند، عملکرد مدل نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. وجود مقادیر گم‌شده، داده‌های پرت، برچسب‌گذاری اشتباه و ویژگی‌های نامرتبط از جمله مشکلات

رایج در مجموعه داده‌ها هستند. همچنین اگر داده‌های آموزشی نماینده مناسبی از داده‌های واقعی نباشند، مدل ممکن است در محیط واقعی عملکرد مطلوبی نداشته باشد. به همین دلیل، پاک‌سازی داده، حذف یا اصلاح داده‌های نامناسب، مدیریت مقادیر گمشده، استانداردسازی و بررسی توزیع داده‌ها از مراحل مهم آماده‌سازی داده برای الگوریتم‌های هوش مصنوعی محسوب می‌شوند. [85]

### ۳-۱۳-۲ حجم داده

حجم داده مورد نیاز به نوع الگوریتم و پیچیدگی مسئله بستگی دارد. الگوریتم‌های ساده‌تر یادگیری ماشین در بسیاری از مسائل می‌توانند با مجموعه داده‌های کوچک‌تر عملکرد قابل قبولی داشته باشند؛ اما مدل‌های عمیق و به‌خصوص مدل‌های بزرگ هوش مصنوعی معمولاً برای یادگیری الگوهای پیچیده به حجم زیادی از داده نیاز دارند. افزایش حجم داده در صورت مناسب بودن کیفیت آن می‌تواند به بهبود قابلیت یادگیری مدل کمک کند؛ با این حال، جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، انتقال، پردازش و برچسب‌گذاری داده‌های بزرگ هزینه‌بر است. بنابراین، مسئله اصلی تنها افزایش حجم داده نیست، بلکه دستیابی به داده کافی، با کیفیت، متنوع و مرتبط با مسئله است. [86]

### ۳-۱۳-۳ هزینه محاسباتی

یکی دیگر از چالش‌های مهم الگوریتم‌های هوش مصنوعی، هزینه محاسباتی است. مدل‌های پیچیده به پردازنده‌های قدرتمند، حافظه بیشتر و در بسیاری از موارد واحدهای پردازش گرافیکی یا این مسئله در مدل‌های یادگیری عمیق و معماری‌های بزرگ مانند Transformer اهمیت بیشتری دارد. آموزش مدل‌های بزرگ می‌تواند زمان زیادی به طول بینجامد و منابع محاسباتی و انرژی قابل توجهی مصرف کند. علاوه بر مرحله آموزش، اجرای مدل نیز ممکن است به منابع سخت‌افزاری قابل توجهی نیاز داشته باشد. GPU نیاز دارند. در نتیجه، هنگام انتخاب الگوریتم باید میان دقت مدل و هزینه محاسباتی تعادل برقرار شود. در کاربردهایی که سخت‌افزار محدود است، استفاده از مدل‌های سبک‌تر یا روش‌های بهینه‌سازی می‌تواند مناسب‌تر باشد. [87]

### ۳-۱۳-۴ بیش‌برازش

بیش‌برازش یا Overfitting زمانی رخ می‌دهد که مدل به جای یادگیری الگوهای عمومی داده، بیش از حد به ویژگی‌ها و جزئیات داده‌های آموزشی وابسته شود. در این وضعیت، مدل ممکن است روی داده‌های آموزشی عملکرد بسیار خوبی داشته باشد، اما هنگام مواجهه با داده‌های جدید عملکرد آن کاهش پیدا کند. بیش‌برازش یکی از مشکلات مهم در یادگیری ماشین و به‌خصوص مدل‌های پیچیده یادگیری عمیق است. عواملی مانند حجم کم داده آموزشی، پیچیدگی بیش از حد مدل و آموزش بیش از اندازه می‌توانند احتمال بیش‌برازش را افزایش دهند. برای کاهش این مشکل می‌توان از روش‌هایی مانند افزایش داده،

منظم‌سازی، Dropout، توقف زودهنگام، اعتبارسنجی متقابل و استفاده از مجموعه داده‌های مناسب‌تر استفاده کرد. هدف اصلی این روش‌ها افزایش قابلیت تعمیم مدل به داده‌های جدید است. [88]

### ۵-۱۳-۳ تفسیرپذیری مدل

تفسیرپذیری یکی از چالش‌های مهم مدل‌های پیچیده هوش مصنوعی است. در الگوریتم‌هایی مانند رگرسیون خطی یا درخت تصمیم، بررسی نحوه رسیدن مدل به یک نتیجه معمولاً نسبتاً ساده است؛ اما در شبکه‌های عصبی عمیق و مدل‌های بزرگ، تعداد زیاد پارامترها و روابط پیچیده میان آن‌ها باعث می‌شود توضیح دقیق تصمیم مدل دشوارتر باشد. این مسئله با عنوان جعبه سیاه نیز مطرح می‌شود. در برخی کاربردهای حساس، تنها دستیابی به دقت بالا کافی نیست و لازم است مشخص شود مدل چرا و بر اساس چه عواملی یک تصمیم مشخص را اتخاذ کرده است. تفسیرپذیری در حوزه‌هایی مانند پزشکی، امور مالی، امنیت و سیستم‌های تصمیم‌یار اهمیت بیشتری دارد. به همین دلیل، حوزه هوش مصنوعی توضیح‌پذیر یا Explainable AI (XAI) برای افزایش قابلیت درک و توضیح تصمیم‌های مدل‌های هوش مصنوعی مورد توجه قرار گرفته است [89]

### ۴-۱۳-۳ چارچوب انتخاب الگوریتم مناسب

انتخاب الگوریتم مناسب یکی از مراحل مهم طراحی یک سامانه هوش مصنوعی است. هیچ الگوریتمی برای تمام مسائل بهترین عملکرد را ندارد و انتخاب روش مناسب باید بر اساس ویژگی‌های مسئله، داده‌ها و محدودیت‌های اجرایی انجام شود.

در پژوهش حاضر، چارچوب انتخاب الگوریتم بر اساس مراحل زیر پیشنهاد می‌شود:

1. تعیین نوع مسئله:

2.

ابتدا باید مشخص شود مسئله از نوع طبقه‌بندی، رگرسیون، خوشه‌بندی، پیش‌بینی، تشخیص الگو یا تولید محتوا است.

3. بررسی نوع و حجم داده:

4.

ساختار داده، تعداد نمونه‌ها، تعداد ویژگی‌ها، وجود داده‌های متنی، تصویری یا عددی و میزان داده در دسترس باید بررسی شود.

۳. بررسی کیفیت داده:

پیش از انتخاب مدل باید داده‌های ناقص، نویزی، نامتوازن و داده‌های پرت شناسایی و تا حد امکان اصلاح شوند.

5. انتخاب چند الگوریتم مناسب:

6.

بر اساس نوع مسئله و داده، چند الگوریتم مناسب انتخاب شده و عملکرد آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود.

۵. بررسی دقت:

عملکرد الگوریتم‌ها با معیارهای مناسب مانند Accuracy، Precision، Recall، F1-Score یا MSE ارزیابی می‌شود.

7. بررسی هزینه محاسباتی:

8.

زمان آموزش، زمان اجرای مدل، حافظه و توان پردازشی موردنیاز بررسی می‌شود.

۷. بررسی تفسیرپذیری:

در کاربردهایی که توضیح تصمیم مدل اهمیت دارد، میزان تفسیرپذیری الگوریتم نیز باید در انتخاب نهایی لحاظ شود.

9. بررسی قابلیت تعمیم:

10.

مدل باید علاوه بر عملکرد مناسب روی داده‌های آموزشی، روی داده‌های جدید نیز عملکرد قابل قبول داشته باشد.

۹. انتخاب مدل نهایی:

در نهایت الگوریتمی انتخاب می‌شود که با توجه به شرایط مسئله، بهترین توازن را میان دقت، سرعت، پیچیدگی، قابلیت تعمیم، تفسیرپذیری و هزینه محاسباتی ایجاد کند [85]. [89]

جدول پیشنهادی چارچوب انتخاب الگوریتم

| مرحله | معیار بررسی | سؤال اصلی                                   |
|-------|-------------|---------------------------------------------|
| ۱     | نوع مسئله   | مسئله طبقه‌بندی، رگرسیون یا خوشه‌بندی است؟  |
| ۲     | نوع داده    | داده‌ها عددی، متنی، تصویری یا ترکیبی هستند؟ |
| ۳     | حجم داده    | چه مقدار داده برای آموزش در دسترس است؟      |
| ۴     | کیفیت داده  | آیا داده‌ها کامل و قابل اعتماد هستند؟       |
| ۵     | دقت         | کدام الگوریتم عملکرد دقیق‌تری دارد؟         |

|    |              |                                         |
|----|--------------|-----------------------------------------|
| ۶  | سرعت         | کدام مدل سریع‌تر آموزش و اجرا می‌شود؟   |
| ۷  | پیچیدگی      | مدل چه میزان محاسبات و منابع نیاز دارد؟ |
| ۸  | تعمیم‌پذیری  | عملکرد مدل روی داده‌های جدید چگونه است؟ |
| ۹  | تفسیرپذیری   | آیا تصمیم‌های مدل قابل توضیح هستند؟     |
| ۱۰ | انتخاب نهایی | کدام مدل بهترین توازن را دارد؟          |

### ۱۵-۳ جمع‌بندی فصل سوم

در این فصل روش انجام پژوهش و چارچوب تحلیل الگوریتم‌های هوش مصنوعی تشریح شد. پژوهش حاضر از نظر روش، یک مطالعه کتابخانه‌ای و مروری با رویکرد توصیفی - تحلیلی است که اطلاعات آن از منابع علمی معتبر گردآوری و بر اساس معیارهای مشخص بررسی شده است. در ادامه، الگوریتم‌های مهم یادگیری ماشین شامل رگرسیون خطی، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و-K Means و همچنین معماری‌های مهم یادگیری عمیق شامل شبکه عصبی مصنوعی، CNN، RNN، LSTM و Transformer مورد تحلیل قرار گرفتند. همچنین معیارهای ارزیابی مدل‌ها شامل Accuracy، Precision، Recall، F1-Score و MSE معرفی شدند. نتایج بررسی نشان داد که انتخاب الگوریتم مناسب به یک عامل واحد مانند دقت وابسته نیست و باید مجموعه‌ای از معیارها شامل نوع داده، حجم داده، کیفیت داده، دقت، سرعت پردازش، پیچیدگی محاسباتی، قابلیت تعمیم، تفسیرپذیری و هزینه محاسباتی در نظر گرفته شود. همچنین چالش‌های فنی مهمی مانند کیفیت نامناسب داده، نیاز به حجم زیاد داده، هزینه محاسباتی بالا، بیش‌برازش و دشواری تفسیر مدل‌های پیچیده مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این مباحث، چارچوبی برای انتخاب الگوریتم مناسب پیشنهاد شد که می‌تواند به انتخاب روش متناسب با نوع مسئله و محدودیت‌های موجود کمک کند. در مجموع، بررسی‌های این فصل مبنای لازم را برای تحلیل کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر و ارزیابی دستاوردهای پژوهش در فصل چهارم فراهم می‌کند.

## فصل چهارم: کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر

## ۴-۱ مقدمه

هوش مصنوعی در سال‌های اخیر از یک حوزه پژوهشی تخصصی به یکی از فناوری‌های مهم و اثرگذار در علوم کامپیوتر تبدیل شده است. پیشرفت الگوریتم‌های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و مدل‌های زبانی بزرگ موجب شده است که هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف چرخه تولید نرم‌افزار و همچنین حوزه امنیت سایبری مورد استفاده قرار گیرد. در مهندسی نرم‌افزار، هوش مصنوعی می‌تواند در فعالیتهایی مانند تولید کد، تشخیص خطا، اشکال‌زدایی، آزمون و نگهداری نرم‌افزار به کار گرفته شود. در حوزه امنیت سایبری نیز الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای شناسایی الگوهای غیرعادی، تشخیص نفوذ، شناسایی بدافزار و تحلیل اطلاعات مربوط به تهدیدات مورد استفاده قرار می‌گیرند [90]. [91] [با گسترش مدل‌های زبانی بزرگ، قابلیت استفاده از هوش مصنوعی در فعالیتهای مرتبط با برنامه‌نویسی نیز افزایش یافته است. این مدل‌ها می‌توانند در تولید و تکمیل کد، بررسی کد و کمک به اصلاح خطاهای برنامه‌نویسی نقش داشته باشند؛ باین‌حال، کد تولیدشده توسط مدل‌های هوش مصنوعی همچنان ممکن است دارای خطاهای منطقی، نحوی یا امنیتی باشد و بنابراین نیازمند بررسی و اعتبارسنجی انسانی است [90]. [92] ]

در امنیت سایبری نیز هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل حجم زیادی از داده‌های شبکه و شناسایی الگوهای غیرعادی، به کشف تهدیدات کمک کند. مطالعات جدید نشان داده‌اند که استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و مدل‌های مبتنی بر Transformer می‌تواند برای تشخیص نفوذ و حملات جدید مورد استفاده قرار گیرد [93]. بنابراین، در این فصل کاربردهای عملی هوش مصنوعی در دو حوزه مهم علوم کامپیوتر، یعنی مهندسی نرم‌افزار و امنیت سایبری بررسی می‌شود.

## ۴-۲ کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی نرم‌افزار

مهندسی نرم‌افزار یکی از حوزه‌هایی است که استفاده از هوش مصنوعی در آن می‌تواند بخش قابل توجهی از فعالیتهای تکراری و زمان‌بر را خودکار کند. مدل‌های یادگیری ماشین و به‌خصوص مدل‌های

زبانی بزرگ می‌توانند اطلاعات موجود در کد، مستندات، گزارش خطا و داده‌های مربوط به فرایند توسعه نرم‌افزار را تحلیل کرده و در مراحل مختلف چرخه عمر نرم‌افزار به توسعه‌دهندگان کمک کنند.[90]

کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی نرم‌افزار تنها به تولید کد محدود نیست و می‌تواند فعالیت‌هایی مانند تشخیص خطا، اشکال‌زدایی، آزمون، بررسی کد، نگهداری و تحلیل آسیب‌پذیری‌های نرم‌افزار را نیز پوشش دهد. با این حال، استفاده از هوش مصنوعی باید همراه با ارزیابی خروجی‌ها باشد، زیرا مدل‌ها ممکن است نتایج نادرست یا کد دارای نقص تولید کنند.[92]

#### ۴-۲-۱ تولید خودکار کد

تولید خودکار کد یکی از مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در مهندسی نرم‌افزار است. مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند بر اساس توضیح متنی کاربر، ساختار موردنظر برنامه و نمونه‌های موجود، کد برنامه‌نویسی تولید کنند. این قابلیت می‌تواند زمان لازم برای نوشتن بخش‌هایی از برنامه را کاهش داده و به توسعه‌دهندگان در پیاده‌سازی سریع‌تر ایده‌ها کمک کند.[90] مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند برای تکمیل خودکار کد، تولید توابع، تبدیل توضیحات متنی به کد، تولید آزمون‌های نرم‌افزاری و تبدیل کد از یک زبان برنامه‌نویسی به زبان دیگر استفاده شوند. پژوهش‌های جدید نشان می‌دهند که مدل‌های زبانی بزرگ نقش قابل توجهی در تغییر فرایندهای سنتی تولید نرم‌افزار داشته‌اند.[90] با این حال، تولید خودکار کد به معنای حذف کامل نقش برنامه‌نویس نیست. کد تولیدشده ممکن است دارای خطا، آسیب‌پذیری امنیتی یا رفتار متفاوت با نیاز واقعی نرم‌افزار باشد. بنابراین بررسی، اجرا و آزمون کد تولیدشده همچنان ضروری است.[92]

#### ۴-۲-۲ تشخیص خطا

تشخیص خطا یکی دیگر از کاربردهای مهم هوش مصنوعی در مهندسی نرم‌افزار است. در پروژه‌های نرم‌افزاری بزرگ، بررسی دستی تمام خطوط کد برای شناسایی خطاها بسیار زمان‌بر است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند با تحلیل کد و داده‌های مربوط به خطاهای گذشته، الگوهای مرتبط با نقص‌های نرم‌افزاری را شناسایی کنند. مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند برای پیش‌بینی بخش‌هایی از نرم‌افزار که احتمال بیشتری برای وجود خطا دارند نیز استفاده شوند. همچنین مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند با بررسی ساختار و محتوای کد، برخی خطاهای نحوی و منطقی را شناسایی کنند. با این حال، تشخیص خودکار خطا به صورت کامل قابل اعتماد نیست و خروجی مدل باید توسط ابزارهای آزمون و توسعه‌دهندگان بررسی

شود. پژوهش‌های تجربی درباره کد تولیدشده توسط مدل‌های زبانی نیز وجود انواع مختلف خطا در خروجی این مدل‌ها را نشان داده‌اند. [92]

### ۳-۲-۴ اشکال زدایی نرم‌افزار

اشکال زدایی فرایندی برای شناسایی علت خطا و اصلاح آن در یک برنامه است. هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل کد، پیام‌های خطا، گزارش‌های اجرای برنامه و سوابق خطا به توسعه‌دهنده در پیدا کردن منشأ مشکل کمک کند. مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند در توضیح پیام‌های خطا، پیشنهاد اصلاح کد، شناسایی بخش مشکل‌دار و ارائه راهکارهای احتمالی برای رفع خطا مورد استفاده قرار گیرند. در روش‌های پیشرفته‌تر، مدل می‌تواند چرخه‌ای از شناسایی خطا، پیشنهاد اصلاح، اجرای آزمون و اصلاح مجدد را پشتیبانی کند. [90]

باوجود این قابلیت‌ها، یکی از چالش‌های مهم، اطمینان از صحت اصلاح پیشنهادی است. ممکن است مدل یک اصلاح ظاهراً مناسب ارائه کند، اما اصلاح موردنظر مشکل اصلی را برطرف نکند یا حتی خطای جدیدی ایجاد کند. بنابراین، اجرای آزمون‌های خودکار پس از اصلاح اهمیت زیادی دارد.

### ۴-۲-۴ آزمون نرم‌افزار

آزمون نرم‌افزار یکی از بخش‌های مهم چرخه توسعه است که هدف آن شناسایی خطاها و بررسی انطباق نرم‌افزار با نیازهای تعیین شده است. هوش مصنوعی می‌تواند در تولید خودکار موارد آزمون، انتخاب آزمون‌های مناسب، تحلیل نتایج آزمون و شناسایی بخش‌های پرخطر نرم‌افزار مورد استفاده قرار گیرد. مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند بر اساس ساختار کد و رفتار مورد انتظار نرم‌افزار، نمونه‌هایی از آزمون‌های مناسب را پیشنهاد کنند. همچنین می‌توان از مدل‌های یادگیری ماشین برای اولویت‌بندی آزمون‌ها استفاده کرد تا ابتدا قسمت‌هایی از نرم‌افزار که احتمال خطای بیشتری دارند بررسی شوند. استفاده از مدل‌های زبانی بزرگ در تولید کد آزمون نیز یکی از زمینه‌های جدید پژوهشی است. با این حال، آزمون‌های تولیدشده توسط هوش مصنوعی نیز باید از نظر پوشش، صحت و ارتباط با نیازهای واقعی نرم‌افزار ارزیابی شوند. [90]

### ۵-۲-۴ نگهداری نرم‌افزار

نگهداری نرم‌افزار شامل فعالیت‌هایی مانند اصلاح خطاها، بهبود عملکرد، تغییر قابلیت‌ها و سازگار کردن نرم‌افزار با محیط‌های جدید است. این مرحله معمولاً بخش قابل توجهی از چرخه عمر یک نرم‌افزار را تشکیل می‌دهد و استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند برخی فعالیت‌های آن را تسهیل کند. هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل کدهای قدیمی، مستندات و سوابق تغییرات، به توسعه‌دهندگان در درک ساختار

نرم افزار و شناسایی قسمت‌هایی که نیازمند اصلاح هستند کمک کند. همچنین مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند برای مستندسازی کد، توضیح عملکرد توابع و پیشنهاد اصلاحات مورد استفاده قرار گیرند. [90] با این حال، استفاده از هوش مصنوعی برای نگهداری سیستم‌های قدیمی نیازمند دقت بالایی است؛ زیرا تغییر یک بخش از نرم افزار ممکن است بر بخش‌های دیگر اثر بگذارد. بنابراین پیشنهاد‌های هوش مصنوعی باید پیش از اعمال نهایی، آزمایش و اعتبارسنجی شوند.

### ۳-۴ کاربرد هوش مصنوعی در امنیت سایبری

امنیت سایبری یکی دیگر از حوزه‌های مهم کاربرد هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر است. افزایش حجم داده‌های شبکه، تنوع حملات و ظهور تهدیدات جدید باعث شده است روش‌های سنتی به تنهایی برای شناسایی تمام تهدیدات کافی نباشند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تحلیل الگوهای رفتاری و داده‌های شبکه، فعالیت‌های غیرعادی را شناسایی کرده و در تشخیص تهدیدات امنیتی مورد استفاده قرار گیرند [93]. [94]

یکی از مزایای مهم هوش مصنوعی در امنیت سایبری، قابلیت پردازش حجم زیادی از داده و شناسایی الگوهایی است که ممکن است با روش‌های دستی به سادگی قابل تشخیص نباشند. با این حال، خود سامانه‌های هوش مصنوعی نیز در برابر حملاتی مانند دستکاری داده، حملات فرار، مسموم‌سازی داده و حملات خصمانه آسیب‌پذیر هستند و باید از آن‌ها در برابر این تهدیدات نیز محافظت شود. [94]

#### ۱-۳-۴ تشخیص نفوذ

سیستم تشخیص نفوذ یا Intrusion Detection System (IDS) وظیفه شناسایی فعالیت‌های مشکوک یا غیرمجاز در شبکه و سیستم‌های رایانه‌ای را بر عهده دارد. روش‌های یادگیری ماشین می‌توانند با یادگیری الگوهای مربوط به ترافیک عادی و حملات شناخته‌شده، فعالیت‌های مشکوک را شناسایی کنند. در روش‌های سنتی، شناسایی بسیاری از حملات بر اساس امضاهای شناخته‌شده انجام می‌شود؛ اما روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین می‌توانند از ویژگی‌های آماری و رفتاری داده‌ها برای شناسایی برخی حملات ناشناخته نیز استفاده کنند. [95] مطالعات جدید همچنین استفاده از مدل‌های مبتنی بر Transformer و مدل‌های زبانی بزرگ را برای تشخیص ناهنجاری و نفوذ در شبکه‌های مدرن بررسی کرده‌اند. نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد این روش‌ها در تشخیص حملات شبکه‌ای قابلیت قابل توجهی دارند. [93]

#### ۲-۳-۴ شناسایی بدافزار

بدافزار یا Malware به نرم افزارهای مخربی گفته می‌شود که با هدف آسیب‌رسانی، سرقت اطلاعات، ایجاد دسترسی غیرمجاز یا اختلال در سیستم طراحی می‌شوند. نمونه‌هایی از بدافزارها شامل ویروس‌ها،

تروجان‌ها، باج‌افزارها و جاسوس‌افزارها هستند. هوش مصنوعی می‌تواند برای شناسایی بدافزار از ویژگی‌های رفتاری، ساختاری و اجرایی فایل‌ها استفاده کند. در روش‌های یادگیری ماشین، مدل با استفاده از نمونه‌های سالم و مخرب آموزش داده می‌شود و سپس تلاش می‌کند نمونه‌های جدید را طبقه‌بندی کند. یکی از مزایای استفاده از هوش مصنوعی، امکان شناسایی الگوهای رفتاری بدافزارهای جدید است؛ با این حال، مهاجمان نیز می‌توانند رفتار بدافزار را تغییر داده یا داده‌های مورد استفاده برای آموزش مدل را دستکاری کنند. بنابراین طراحی مدل‌های مقاوم در برابر حملات خصمانه اهمیت زیادی دارد. [94]

### ۳-۳-۴ تشخیص ناهنجاری

تشخیص ناهنجاری یکی از کاربردهای مهم یادگیری ماشین در امنیت سایبری است. در این روش، هدف شناسایی رفتارهایی است که با الگوی معمول سیستم یا شبکه تفاوت دارند. الگوریتم‌های یادگیری بدون نظارت و نیمه‌نظارتی می‌توانند در شرایطی که نمونه‌های برچسب‌گذاری شده حملات محدود هستند، مفید باشند. مدل با یادگیری الگوی رفتار عادی می‌تواند مواردی را که از این الگو فاصله زیادی دارند به عنوان موارد مشکوک علامت‌گذاری کند. تشخیص ناهنجاری به خصوص برای شناسایی حملات جدید و ناشناخته اهمیت دارد؛ زیرا در چنین شرایطی ممکن است امضای مشخصی از حمله در اختیار سیستم نباشد. البته هر رفتار غیرعادی الزاماً به معنای حمله نیست و بنابراین مسئله مثبت کاذب یکی از چالش‌های اصلی این روش محسوب می‌شود [93]. [95]

### ۴-۳-۴ تحلیل تهدیدات سایبری

تحلیل تهدیدات سایبری یا Cyber Threat Intelligence شامل جمع‌آوری، پردازش و تحلیل اطلاعات مرتبط با تهدیدات و رفتار مهاجمان است. حجم زیاد گزارش‌های امنیتی، داده‌های شبکه و اطلاعات مربوط به حملات باعث شده است استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در این حوزه مورد توجه قرار گیرد. مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند برای استخراج اطلاعات مهم از گزارش‌های تهدید، شناسایی الگوهای حمله، دسته‌بندی تهدیدات و ارتباط دادن فعالیت‌های مشاهده‌شده با چارچوب‌هایی مانند MITRE ATT&CK مورد استفاده قرار گیرند. پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که ترکیب مدل‌های زبانی بزرگ با روش‌های یادگیری فعال می‌تواند فرایند استخراج تکنیک‌های حمله از گزارش‌های اطلاعات تهدید را بهینه کند. [96] در نتیجه، هوش مصنوعی می‌تواند زمان مورد نیاز برای تحلیل حجم زیادی از اطلاعات امنیتی را کاهش دهد و به کارشناسان امنیت در اولویت‌بندی تهدیدات کمک کند. با این حال، خروجی مدل باید توسط متخصص امنیت بررسی شود؛ زیرا خطا در تحلیل یک تهدید می‌تواند پیامدهای امنیتی قابل توجهی داشته باشد.

### جدول جمع‌بندی کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر

| هدف              | الگوریتم‌ها / فناوری‌های مناسب | کاربرد هوش مصنوعی | حوزه             |
|------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|
| تولید و تکمیل کد | LLM، Transformer               | تولید کد          | مهندسی نرم‌افزار |

|                               |                                |                  |                  |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| شناسایی نقص های نرم افزاری    | ML ،LLM                        | تشخیص خطا        | مهندسی نرم افزار |
| یافتن و اصلاح خطا             | LLM ،Deep Learning             | اشکال زدایی      | مهندسی نرم افزار |
| تولید و اولویت بندی آزمون     | ML ،LLM                        | آزمون            | مهندسی نرم افزار |
| تحلیل و اصلاح نرم افزار       | LLM ،ML                        | نگهداری          | مهندسی نرم افزار |
| شناسایی حملات شبکه            | ML ،Deep Learning ،Transformer | تشخیص نفوذ       | امنیت سایبری     |
| تشخیص نرم افزار مخرب          | ML ،Deep Learning              | شناسایی بد افزار | امنیت سایبری     |
| شناسایی رفتار غیر عادی        | ML ،Autoencoder                | تشخیص ناهنجاری   | امنیت سایبری     |
| استخراج و تحلیل اطلاعات تهدید | NLP ،LLM ،Active Learning      | تحلیل تهدید      | امنیت سایبری     |

#### ۴-۴ کاربرد هوش مصنوعی در پایگاه های داده

هوش مصنوعی در سال های اخیر به یکی از فناوری های مؤثر در مدیریت و تحلیل پایگاه های داده تبدیل شده است. افزایش حجم، تنوع و سرعت تولید داده ها باعث شده است روش های سنتی مدیریت داده در برخی کاربردها با محدودیت مواجه شوند. استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین و روش های هوشمند می تواند در زمینه هایی مانند بهینه سازی اجرای پرس و جوها، مدیریت منابع، تشخیص الگو و استخراج اطلاعات ارزشمند از داده ها مورد استفاده قرار گیرد [97، 98]. [در سامانه های پایگاه داده، هوش مصنوعی می تواند با تحلیل رفتار سیستم و سوابق اجرای عملیات، الگوهای موجود را شناسایی کرده و در تصمیم گیری های مربوط به مدیریت داده و منابع محاسباتی نقش داشته باشد. همچنین ترکیب پایگاه های داده با روش های یادگیری ماشین زمینه شکل گیری سامانه هایی را فراهم کرده است که بخشی از فرایندهای مدیریت و بهینه سازی را به صورت خودکار انجام می دهند. [97]

##### ۴-۴-۱ بهینه سازی پرس و جو

بهینه سازی پرس و جو یا Query Optimization یکی از بخش های مهم سیستم های مدیریت پایگاه داده است. هنگامی که کاربر یک پرس و جوی SQL را اجرا می کند، سیستم باید مناسب ترین روش اجرای آن را انتخاب کند. برای یک پرس و جوی مشخص ممکن است چندین برنامه اجرایی متفاوت وجود داشته باشد که هزینه و زمان اجرای آن ها یکسان نیست. روش های یادگیری ماشین می توانند با استفاده از اطلاعات مربوط به اجرای پرس و جوهای قبلی، زمان اجرا، حجم داده و منابع مصرف شده، هزینه احتمالی روش های مختلف اجرای پرس و جو را تخمین بزنند. سپس سیستم می تواند بر اساس این پیش بینی، برنامه اجرایی مناسب تری را انتخاب کند. [98] یکی از مزایای این روش، امکان سازگاری بهتر سیستم با الگوهای

واقعی استفاده از پایگاه داده است. در نتیجه، در محیط‌هایی با حجم بالای داده و پرس‌وجوهای پیچیده، استفاده از روش‌های یادگیری ماشین می‌تواند به کاهش زمان اجرای پرس‌وجو و مصرف منابع کمک کند.

#### ۴-۴-۲ مدیریت هوشمند داده‌ها

مدیریت هوشمند داده‌ها به استفاده از روش‌های هوش مصنوعی برای بهبود فرایندهای مرتبط با ذخیره‌سازی، سازمان‌دهی، پردازش و استفاده از داده‌ها اشاره دارد. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با بررسی الگوهای استفاده از داده، اطلاعات مربوط به دسترسی کاربران و وضعیت منابع، در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت داده کمک کنند. برای مثال، سیستم می‌تواند با تحلیل تاریخچه دسترسی به داده‌ها، اطلاعاتی را که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند شناسایی کرده و برای دسترسی سریع‌تر در منابع مناسب قرار دهد. همچنین الگوریتم‌های هوشمند می‌توانند برای شناسایی داده‌های تکراری، تشخیص ناهنجاری و بهبود کیفیت داده‌ها مورد استفاده قرار گیرند. [97]

بنابراین، هوش مصنوعی می‌تواند پایگاه داده را از یک سامانه صرفاً ذخیره‌کننده اطلاعات به سامانه‌ای تبدیل کند که بخشی از فرایند مدیریت منابع و تصمیم‌گیری را بر اساس داده‌های واقعی انجام می‌دهد.

#### ۴-۴-۳ تشخیص الگو در داده‌ها

یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های هوش مصنوعی، شناسایی الگوهای موجود در مجموعه داده‌های بزرگ است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند روابط و الگوهای را شناسایی کنند که شناسایی آن‌ها با روش‌های دستی دشوار یا زمان‌بر است. در پایگاه‌های داده، این قابلیت می‌تواند برای دسته‌بندی داده‌ها، کشف روابط میان رکوردها، شناسایی داده‌های غیرعادی، پیش‌بینی رفتار کاربران و استخراج اطلاعات کاربردی مورد استفاده قرار گیرد. روش‌هایی مانند خوشه‌بندی، طبقه‌بندی و شبکه‌های عصبی می‌توانند بر اساس نوع داده و هدف تحلیل مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، ترکیب پایگاه داده و هوش مصنوعی زمینه مناسبی برای تبدیل داده‌های خام به اطلاعات قابل استفاده در تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند. [98]

### ۴-۵ کاربرد هوش مصنوعی در پردازش زبان طبیعی

پردازش زبان طبیعی یا (Natural Language Processing (NLP یکی از شاخه‌های مهم هوش مصنوعی است که هدف آن ایجاد توانایی برای پردازش و تحلیل زبان انسانی توسط رایانه است. با پیشرفت یادگیری عمیق و معماری Transformer، قابلیت سیستم‌های NLP در درک و تولید متن به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. [99] کاربردهای NLP امروزه از ترجمه ماشینی و تحلیل احساسات تا چت‌بات‌ها،

خلاصه‌سازی متن و مدل‌های زبانی بزرگ را شامل می‌شود. مدل‌های زبانی بزرگ نیز با آموزش روی حجم گسترده‌ای از داده‌های متنی، قابلیت انجام طیف متنوعی از وظایف زبانی را پیدا کرده‌اند. [100]

#### ۴-۵-۱ ترجمه ماشینی

ترجمه ماشینی به فرایند تبدیل خودکار متن از یک زبان به زبان دیگر گفته می‌شود. روش‌های سنتی ترجمه ماشینی بیشتر بر قوانین زبانی و روش‌های آماری متکی بودند؛ اما استفاده از شبکه‌های عصبی و معماری Transformer باعث ایجاد پیشرفت‌های قابل توجه در کیفیت ترجمه شده است. [99] مدل‌های عصبی می‌توانند ارتباط میان کلمات و جملات را در زبان مبدأ و مقصد یاد بگیرند و ترجمه‌ای متناسب با ساختار متن تولید کنند. استفاده از Transformer امکان پردازش بهتر وابستگی‌های موجود در جملات طولانی را فراهم کرده است.

#### ۴-۵-۲ تحلیل احساسات

تحلیل احساسات یا Sentiment Analysis یکی از کاربردهای مهم پردازش زبان طبیعی است که هدف آن شناسایی احساس یا دیدگاه موجود در متن است. سیستم می‌تواند متن را بر اساس معیارهایی مانند مثبت، منفی یا خنثی دسته‌بندی کند. این فناوری در تحلیل نظرات کاربران، بررسی دیدگاه مشتریان، تحلیل شبکه‌های اجتماعی، ارزیابی محصولات و خدمات و تحلیل بازخورد کاربران کاربرد دارد. مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق می‌توانند با آموزش روی مجموعه داده‌های برچسب‌گذاری شده، الگوهای زبانی مرتبط با احساسات را یاد بگیرند. مدل‌های زبانی جدید نیز امکان تحلیل دقیق‌تر متن‌های پیچیده و وابسته به زمینه را فراهم کرده‌اند. [100]

#### ۴-۵-۳ چت‌بات‌ها

چت‌بات‌ها سامانه‌هایی هستند که برای برقراری ارتباط متنی یا صوتی با کاربران طراحی شده‌اند. نسل جدید چت‌بات‌ها با استفاده از مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند درخواست‌های کاربران را تحلیل کرده و پاسخ‌های متناسب با زمینه مکالمه تولید کنند. چت‌بات‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در حوزه‌هایی مانند پشتیبانی مشتریان، آموزش، خدمات سازمانی، تجارت الکترونیک و ارائه اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرند. تفاوت مهم چت‌بات‌های جدید با سامانه‌های مبتنی بر قوانین ثابت، قابلیت تولید پاسخ‌های پویا و مدیریت مکالمات پیچیده‌تر است. با این حال، احتمال تولید اطلاعات نادرست یا پاسخ‌های غیرقابل اعتماد همچنان یکی از محدودیت‌های مدل‌های زبانی محسوب می‌شود [100]. [101]

#### ۴-۵-۴ خلاصه‌سازی متون

خلاصه‌سازی خودکار متن به فرایند تولید نسخه کوتاه‌تر و در عین حال معنادار از یک متن گفته می‌شود. هدف اصلی این فناوری، استخراج اطلاعات مهم و کاهش حجم محتوای موردنیاز برای مطالعه است. روش‌های هوش مصنوعی می‌توانند برای خلاصه‌سازی مقاله‌های علمی، اخبار، گزارش‌های سازمانی، اسناد و محتوای طولانی مورد استفاده قرار گیرند. مدل‌های مبتنی بر Transformer توانایی بالایی در درک ارتباط میان بخش‌های مختلف متن دارند و به همین دلیل در خلاصه‌سازی متون طولانی کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. [99] با وجود این، ارزیابی کیفیت خلاصه تولیدشده تنها بر اساس کوتاه‌تر بودن متن کافی نیست؛ بلکه باید بررسی شود که اطلاعات اصلی حفظ شده و محتوای تولیدشده با متن اصلی سازگار باشد.

#### ۴-۵-۵ مدل‌های زبانی بزرگ

مدل‌های زبانی بزرگ یا Large Language Models (LLMs) مدل‌های یادگیری عمیقی هستند که معمولاً با استفاده از حجم بسیار زیادی از داده‌های متنی آموزش داده می‌شوند. این مدل‌ها با بهره‌گیری از معماری Transformer قادر به پردازش و تولید متن هستند. [100] مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند در وظایفی مانند پاسخ‌گویی به پرسش‌ها، ترجمه، خلاصه‌سازی، تولید محتوا، تحلیل متن و تولید کد مورد استفاده قرار گیرند. قابلیت انجام چندین وظیفه مختلف بدون آموزش اختصاصی برای هر وظیفه، یکی از ویژگی‌های مهم این مدل‌ها محسوب می‌شود. با وجود قابلیت‌های گسترده، مدل‌های زبانی بزرگ با چالش‌هایی مانند تولید اطلاعات نادرست، سوگیری، هزینه محاسباتی، نیاز به داده و مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت مواجه هستند. [101]

#### ۴-۶ کاربرد هوش مصنوعی در بینایی ماشین

بینایی ماشین یا Computer Vision شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که هدف آن پردازش، تحلیل و استخراج اطلاعات از تصاویر و ویدئوها است. پیشرفت شبکه‌های عصبی کانولوشنی و سپس معماری‌های Transformer باعث افزایش قابل توجه توانایی سیستم‌های بینایی ماشین شده است. [102] بینایی ماشین در حوزه‌هایی مانند پزشکی، صنعت، حمل‌ونقل، امنیت، رباتیک، کشاورزی و سیستم‌های هوشمند کاربرد دارد. سیستم‌های بینایی ماشین می‌توانند اشیاء را شناسایی کنند، تصاویر را طبقه‌بندی نمایند و ویژگی‌های موجود در تصاویر را استخراج و تحلیل کنند.

##### ۴-۶-۱ تشخیص اشیا

تشخیص اشیا یا Object Detection یکی از مهم‌ترین وظایف بینایی ماشین است. در این فرایند، سیستم علاوه بر شناسایی نوع شیء، موقعیت آن را نیز در تصویر مشخص می‌کند. مدل‌های یادگیری عمیق می‌توانند اشیایی مانند خودرو، انسان، حیوان یا تجهیزات صنعتی را در تصاویر و ویدئوها شناسایی کنند. روش‌های جدید تشخیص اشیا از معماری‌های عمیق و مدل‌های پیشرفته برای افزایش سرعت و دقت استفاده می‌کنند. [102] این فناوری در سیستم‌های رانندگی هوشمند، نظارت تصویری، رباتیک و کنترل کیفیت صنعتی کاربرد گسترده‌ای دارد.

#### ۴-۶-۲ تشخیص چهره

تشخیص چهره یکی از کاربردهای شناخته‌شده بینایی ماشین است که در آن سیستم ویژگی‌های چهره افراد را از تصاویر یا ویدئوها استخراج و برای شناسایی یا مقایسه استفاده می‌کند. این فناوری می‌تواند در احراز هویت، کنترل دسترسی، سیستم‌های امنیتی و برخی کاربردهای هوشمند مورد استفاده قرار گیرد. مدل‌های یادگیری عمیق در سال‌های اخیر عملکرد سیستم‌های تشخیص چهره را بهبود داده‌اند. با این حال، استفاده از فناوری تشخیص چهره با مسائل مهمی مانند حریم خصوصی، امنیت داده‌های بیومتریک، سوگیری الگوریتمی و استفاده مسئولانه از اطلاعات افراد همراه است.

#### ۴-۶-۳ طبقه‌بندی تصاویر

طبقه‌بندی تصویر به فرایند تعیین یک یا چند کلاس برای تصویر گفته می‌شود. برای مثال، یک مدل می‌تواند تصاویر را به دسته‌هایی مانند خودرو، انسان، حیوان یا ساختمان تقسیم کند. شبکه‌های عصبی کانولوشنی یکی از روش‌های مهم برای طبقه‌بندی تصاویر هستند و قادرند ویژگی‌های تصویری را به صورت خودکار از داده‌های خام استخراج کنند. [102] طبقه‌بندی تصاویر در حوزه‌هایی مانند تشخیص بیماری از تصاویر پزشکی، کنترل کیفیت محصولات، تشخیص گونه‌های گیاهی و شناسایی اشیای مختلف کاربرد دارد.

#### ۴-۶-۴ تحلیل تصاویر

تحلیل تصاویر مفهومی گسترده‌تر از طبقه‌بندی ساده است و شامل استخراج و تفسیر اطلاعات مختلف از تصاویر می‌شود. سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند ویژگی‌های تصویری، الگوها، اشیا و روابط مکانی میان آن‌ها را شناسایی کنند. در کاربردهای پیشرفته، مدل‌های بینایی ماشین می‌توانند علاوه بر شناسایی اشیا، اطلاعات موجود در تصویر را تحلیل و توصیف کنند. ترکیب مدل‌های بینایی و مدل‌های زبانی نیز امکان ایجاد سامانه‌هایی را فراهم کرده است که قادر به ارتباط دادن محتوای تصویری و متنی هستند. [102] در مجموع، پیشرفت یادگیری عمیق و Transformer موجب شده است بینایی ماشین از سیستم‌های ساده تشخیص الگو به سمت سامانه‌های چندوجهی حرکت کند که می‌توانند اطلاعات تصویری و متنی را به صورت همزمان پردازش کنند.

### جدول جمع‌بندی فصل

| نمونه کاربرد           | فناوری های اصلی    | کاربرد              | حوزه         |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------------|
| Query کاهش زمان اجرای  | ML                 | بهینه سازی پرس و جو | پایگاه داده  |
| مدیریت منابع و داده    | ML                 | مدیریت هوشمند داده  | پایگاه داده  |
| کشف روابط و ناهنجاری   | ML ،Deep Learning  | تشخیص الگو          | پایگاه داده  |
| ترجمه متن              | Transformer        | ترجمه ماشینی        | NLP          |
| تحلیل نظرات            | NLP ،ML ،LLM       | تحلیل احساسات       | NLP          |
| پشتیبانی کاربران       | LLM ،Transformer   | چت بات              | NLP          |
| خلاصه اسناد            | Transformer ،LLM   | خلاصه سازی          | NLP          |
| تولید و تحلیل متن      | Transformer        | مدل زبانی بزرگ      | NLP          |
| شناسایی اشیا           | CNN ،Deep Learning | تشخیص اشیا          | بینایی ماشین |
| احراز هویت             | Deep Learning      | تشخیص چهره          | بینایی ماشین |
| دسته بندی تصاویر       | CNN                | طبقه بندی تصویر     | بینایی ماشین |
| استخراج اطلاعات تصویری | CNN ،Transformer   | تحلیل تصویر         | بینایی ماشین |

## ۷-۴ کاربرد هوش مصنوعی در رباتیک

هوش مصنوعی نقش مهمی در توسعه ربات های هوشمند دارد و باعث شده است ربات ها از سیستم های صرفاً برنامه ریزی شده به سامانه هایی تبدیل شوند که توانایی درک محیط، یادگیری، تصمیم گیری و انجام اقدامات مستقل را دارند. الگوریتم های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق می توانند برای پردازش اطلاعات حسگرها، تشخیص اشیا، مسیریابی، کنترل حرکت و تصمیم گیری ربات مورد استفاده قرار گیرند. همچنین ترکیب هوش مصنوعی با رباتیک زمینه توسعه ربات های خودمختار را در محیط های صنعتی، پزشکی، خدماتی و خانگی فراهم کرده است. [103] یکی از کاربردهای مهم هوش مصنوعی در رباتیک، ادراک محیط است. ربات می تواند با استفاده از دوربین، حسگرهای فاصله، حسگرهای حرکتی و سایر تجهیزات، اطلاعات محیط را دریافت و با استفاده از الگوریتم های هوشمند تحلیل کند. پس از تحلیل محیط، سیستم می تواند مسیر مناسب را انتخاب کرده و اقدامات مورد نیاز را انجام دهد. هوش مصنوعی همچنین در کنترل حرکت و مسیریابی ربات کاربرد دارد. الگوریتم های هوشمند می توانند مسیر حرکت ربات را بر اساس وضعیت محیط تعیین و در صورت تغییر شرایط، مسیر را اصلاح کنند. این قابلیت برای ربات های متحرک، خودروهای خودران و سامانه های رباتیک صنعتی اهمیت زیادی دارد.

## ۸-۴ کاربرد هوش مصنوعی در سیستم‌های توصیه‌گر

سیستم‌های توصیه‌گر سامانه‌هایی هستند که با تحلیل اطلاعات کاربران و محصولات یا خدمات موجود، گزینه‌هایی را که احتمالاً برای کاربر مناسب‌تر هستند پیشنهاد می‌کنند. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نقش مهمی در توسعه این سیستم‌ها دارند؛ زیرا می‌توانند از رفتارهای گذشته کاربران برای پیش‌بینی علایق و ترجیحات آن‌ها استفاده کنند. در روش‌های سنتی، توصیه‌ها بیشتر بر اساس قوانین ثابت یا اطلاعات ساده کاربران ایجاد می‌شدند؛ اما روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین می‌توانند روابط پیچیده‌تر میان کاربر، محصول، سابقه تعامل و ویژگی‌های محتوا را یاد بگیرند. از سیستم‌های توصیه‌گر در فروشگاه‌های اینترنتی، سرویس‌های پخش فیلم و موسیقی، شبکه‌های اجتماعی و سامانه‌های ارائه خدمات استفاده می‌شود. همچنین در محیط اینترنت اشیا، سیستم‌های توصیه‌گر می‌توانند برای پیشنهاد خدمات متناسب با نیاز کاربران مورد استفاده قرار گیرند. [104]

## ۹-۴ کاربرد هوش مصنوعی در رایانش ابری

رایانش ابری امکان ارائه منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی را به‌صورت انعطاف‌پذیر فراهم می‌کند. ترکیب هوش مصنوعی و رایانش ابری باعث شده است امکان پردازش مجموعه‌داده‌های بزرگ و اجرای مدل‌های پیچیده هوش مصنوعی در زیرساخت‌های ابری فراهم شود. هوش مصنوعی در رایانش ابری می‌تواند برای پیش‌بینی بار کاری، تخصیص منابع، مدیریت انرژی، تشخیص خطا، افزایش امنیت و بهینه‌سازی عملکرد مراکز داده مورد استفاده قرار گیرد. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند وضعیت منابع را تحلیل کرده و میزان منابع موردنیاز را پیش‌بینی کنند. از طرف دیگر، رایانش ابری زیرساخت مناسبی برای آموزش مدل‌های بزرگ هوش مصنوعی فراهم می‌کند؛ زیرا مدل‌های یادگیری عمیق معمولاً به منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی قابل توجهی نیاز دارند.

## ۱۰-۴ کاربرد هوش مصنوعی در رایانش لبه‌ای

رایانش لبه‌ای یا Edge Computing رویکردی است که در آن بخشی از پردازش داده در نزدیکی محل تولید داده انجام می‌شود. ترکیب هوش مصنوعی با رایانش لبه‌ای با عنوان Edge AI شناخته می‌شود و امکان اجرای مدل‌های هوش مصنوعی را در دستگاه‌ها یا گره‌های نزدیک به منبع داده فراهم می‌کند. یکی از مهم‌ترین مزایای این رویکرد، کاهش زمان انتقال داده به سرورهای مرکزی و در نتیجه کاهش تأخیر است. این ویژگی برای کاربردهای بلادرنگ مانند رباتیک، خودروهای هوشمند، دوربین‌های نظارتی و اینترنت اشیا اهمیت زیادی دارد. در Edge AI، مدل‌های هوش مصنوعی باید تا حد امکان سبک و بهینه باشند؛ زیرا دستگاه‌های لبه‌ای معمولاً نسبت به مراکز داده دارای منابع پردازشی، حافظه و انرژی محدودتری هستند. [105]

## ۱۱-۴ کاربرد هوش مصنوعی در اینترنت اشیا

اینترنت اشیا مجموعه‌ای از دستگاه‌های متصل است که می‌توانند داده‌ها را جمع‌آوری، منتقل و پردازش کنند. هوش مصنوعی می‌تواند داده‌های تولیدشده توسط این دستگاه‌ها را تحلیل کرده و از آن‌ها برای پیش‌بینی، تشخیص ناهنجاری و تصمیم‌گیری هوشمند استفاده کند. ترکیب هوش مصنوعی و اینترنت اشیا که با عنوان **AIoT** نیز شناخته می‌شود، امکان ایجاد سامانه‌هایی را فراهم می‌کند که علاوه بر جمع‌آوری داده، قادر به تحلیل و تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های دریافت‌شده هستند. کاربردهای مهم این ترکیب شامل خانه هوشمند، شهر هوشمند، کشاورزی هوشمند، صنعت هوشمند، سلامت هوشمند و حمل‌ونقل هوشمند است. برای مثال، حسگرهای یک سیستم هوشمند می‌توانند اطلاعات محیط را جمع‌آوری کنند و الگوریتم هوش مصنوعی بر اساس این اطلاعات، وضعیت سیستم را پیش‌بینی یا فرمان مناسب را صادر کند. [106]

## ۱۲-۴ کاربرد هوش مصنوعی در کلان داده

کلان داده یا **Big Data** به مجموعه داده‌هایی با حجم، سرعت و تنوع بالا گفته می‌شود که پردازش آن‌ها با روش‌های سنتی دشوار است. هوش مصنوعی و به‌خصوص یادگیری ماشین می‌توانند برای استخراج الگوها و اطلاعات ارزشمند از این داده‌ها مورد استفاده قرار گیرند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی قادرند حجم زیادی از داده‌های ساختاریافته و غیرساختاریافته را تحلیل کرده و الگوهای موجود در آن‌ها را شناسایی کنند. این قابلیت در پیش‌بینی، طبقه‌بندی، تشخیص ناهنجاری، تحلیل رفتار کاربران و پشتیبانی از تصمیم‌گیری کاربرد دارد. از سوی دیگر، کلان داده نیز منبع مهمی برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی محسوب می‌شود. بنابراین میان این دو حوزه رابطه‌ای دوسویه وجود دارد؛ کلان داده داده موردنیاز مدل‌های هوش مصنوعی را فراهم می‌کند و هوش مصنوعی نیز امکان تحلیل هوشمند حجم زیادی از داده را فراهم می‌سازد. [107]

## ۱۳-۴ تحلیل مزایا و محدودیت‌های کاربرد هوش مصنوعی

استفاده از هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر مزایای قابل توجهی ایجاد کرده است، اما در کنار این مزایا، محدودیت‌ها و چالش‌هایی نیز وجود دارد. بنابراین ارزیابی کاربردهای هوش مصنوعی باید به‌صورت متوازن و با در نظر گرفتن هر دو جنبه انجام شود.

### ۱-۱۳-۴ مزایای هوش مصنوعی

مهم‌ترین مزایای استفاده از هوش مصنوعی عبارت‌اند از:

افزایش سرعت پردازش: الگوریتم‌های هوش مصنوعی قادرند حجم زیادی از داده‌ها را در مدت کوتاهی تحلیل کنند.

خودکارسازی فرایندها: بسیاری از فعالیت‌های تکراری را می‌توان با استفاده از سیستم‌های هوشمند خودکار کرد.

افزایش دقت: در برخی کاربردها، مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند الگوهایی را شناسایی کنند که تشخیص آن‌ها با روش‌های دستی دشوار است.

پشتیبانی از تصمیم‌گیری: هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های گذشته و موجود، اطلاعاتی برای تصمیم‌گیری ارائه کند.

پیش‌بینی: مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند بر اساس داده‌های گذشته، رفتارها و رویدادهای احتمالی آینده را پیش‌بینی کنند.

قابلیت پردازش داده‌های بزرگ: الگوریتم‌های هوش مصنوعی امکان استخراج الگو و اطلاعات از مجموعه داده‌های بسیار بزرگ را فراهم می‌کنند. [107]

#### ۲-۱۳-۴ محدودیت‌های هوش مصنوعی

در کنار مزایا، استفاده از هوش مصنوعی با محدودیت‌هایی نیز همراه است. مهم‌ترین محدودیت‌ها شامل نیاز به داده باکیفیت، هزینه محاسباتی بالا، نیاز به سخت‌افزار مناسب، احتمال خطا، بیش‌برازش، دشواری تفسیر برخی مدل‌ها و مسائل مربوط به حریم خصوصی است. مدل‌های پیچیده به خصوص مدل‌های یادگیری عمیق و مدل‌های زبانی بزرگ ممکن است به حجم زیادی از داده و منابع محاسباتی نیاز داشته باشند. همچنین خروجی مدل همیشه صحیح نیست و در کاربردهای حساس باید توسط انسان بررسی شود.

از سوی دیگر، اگر داده‌های آموزشی دارای سوگیری باشند، مدل نیز ممکن است همان سوگیری را در خروجی‌های خود نشان دهد. بنابراین کیفیت داده و نحوه طراحی و ارزیابی مدل اهمیت زیادی دارد [108].

#### ۴-۱۴ چالش‌های اخلاقی و امنیتی

گسترش هوش مصنوعی علاوه بر فرصت‌های فنی، مجموعه‌ای از چالش‌های اخلاقی و امنیتی را نیز ایجاد کرده است. حریم خصوصی، امنیت داده‌ها، سوگیری الگوریتمی، شفافیت، مسئولیت‌پذیری و تولید محتوای نادرست از جمله مهم‌ترین موضوعات مطرح در این حوزه هستند. یکی از مهم‌ترین مسائل، حفاظت از اطلاعات شخصی است. بسیاری از سیستم‌های هوش مصنوعی برای آموزش و عملکرد خود به حجم زیادی از داده نیاز دارند و اگر جمع‌آوری یا پردازش این داده‌ها بدون سازوکارهای مناسب انجام شود، می‌تواند حریم خصوصی افراد را تهدید کند. موضوع دیگر سوگیری الگوریتمی است. اگر داده‌های آموزشی یک مدل دارای سوگیری باشند، خروجی سیستم نیز ممکن است تحت تأثیر همان سوگیری قرار گیرد. این مسئله در کاربردهایی مانند تشخیص چهره، استخدام، اعتبارسنجی و تصمیم‌گیری‌های حساس اهمیت

بیشتری دارد. از نظر امنیتی نیز سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند هدف حملات مختلف قرار گیرند. مهاجم ممکن است داده‌های آموزشی را دستکاری کند، ورودی‌های خاصی طراحی کند که مدل را به تصمیم اشتباه وادار کند یا از مدل برای تولید محتوای مخرب استفاده نماید. در حوزه هوش مصنوعی مولد نیز تولید جعل عمیق، اطلاعات نادرست و محتوای گمراه‌کننده از چالش‌های مهم محسوب می‌شود. گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس نیز بر موضوعاتی مانند جعل عمیق، سوءاستفاده سایبری و پیامدهای اخلاقی هوش مصنوعی مولد تأکید کرده است [109]. همچنین سند ملی هوش مصنوعی جمهوری اسلامی ایران بر توسعه و استفاده هدفمند از هوش مصنوعی در کشور تأکید دارد. [110] در نتیجه، توسعه هوش مصنوعی باید همراه با توجه به اصول امنیت، حریم خصوصی، شفافیت، پاسخ‌گویی، عدالت و استفاده مسئولانه باشد

#### جدول جمع‌بندی کاربردهای فصل چهارم

| مهم‌ترین مزیت        | مهم‌ترین کاربرد         | حوزه               |
|----------------------|-------------------------|--------------------|
| خودمختاری            | ادراک محیط و تصمیم‌گیری | رباتیک             |
| افزایش تناسب پیشنهاد | پیشنهاد شخصی‌سازی‌شده   | سیستم‌های توصیه‌گر |
| بهینه‌سازی منابع     | مدیریت منابع            | رایانش ابری        |
| کاهش تأخیر           | پردازش نزدیک منبع داده  | رایانش لبه‌ای      |
| تصمیم‌گیری هوشمند    | تحلیل داده حسگرها       | اینترنت اشیا       |
| کشف الگو             | تحلیل حجم زیاد داده     | کلان‌داده          |
| افزایش بهره‌وری      | خودکارسازی و پیش‌بینی   | علوم کامپیوتر      |

#### ۱۴-۴ چالش‌های اخلاقی و امنیتی

گسترش هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر، علاوه بر ایجاد فرصت‌های جدید، چالش‌های اخلاقی، امنیتی و اجتماعی متعددی را نیز به همراه داشته است. سیستم‌های هوش مصنوعی معمولاً با حجم زیادی از داده‌ها آموزش می‌بینند و بر اساس داده‌های ورودی تصمیم‌گیری یا تولید خروجی می‌کنند؛ بنابراین کیفیت داده، نحوه جمع‌آوری و پردازش اطلاعات، ساختار الگوریتم و شیوه استفاده از خروجی مدل می‌تواند بر عملکرد و پیامدهای آن تأثیر بگذارد. در نتیجه، توسعه هوش مصنوعی باید علاوه بر معیارهای فنی مانند دقت و سرعت، از نظر حریم خصوصی، عدالت، امنیت، تفسیرپذیری و قابلیت اعتماد نیز ارزیابی شود. [111]

##### ۱-۱۴-۴ حریم خصوصی

حریم خصوصی یکی از مهم‌ترین چالش‌های استفاده از هوش مصنوعی است. بسیاری از سامانه‌های هوشمند برای آموزش و عملکرد خود به داده‌های گسترده‌ای از کاربران نیاز دارند. این داده‌ها ممکن است شامل اطلاعات شخصی، سوابق فعالیت، تصاویر، صدا، موقعیت مکانی و اطلاعات رفتاری باشند. جمع‌آوری و پردازش چنین داده‌هایی در صورت نبود سازوکارهای مناسب می‌تواند خطر افشای اطلاعات شخصی را افزایش دهد. [112] در سیستم‌های هوش مصنوعی، حتی زمانی که داده‌ها برای اهداف مشخصی جمع‌آوری شده‌اند، امکان استفاده ثانویه از اطلاعات یا ترکیب آن‌ها با سایر داده‌ها وجود دارد. بنابراین لازم است اصولی مانند حداقل‌سازی داده، ناشناس‌سازی، کنترل دسترسی، رمزنگاری و محدود کردن دسترسی به اطلاعات حساس مورد توجه قرار گیرد. در مدل‌های یادگیری ماشین و به‌خصوص مدل‌های بزرگ، حفاظت از داده‌های آموزشی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. استفاده از روش‌هایی مانند یادگیری فدرال و تکنیک‌های حفظ حریم خصوصی می‌تواند به کاهش نیاز به انتقال مستقیم داده‌های حساس کمک کند.

#### ۴-۱۴-۲ سوگیری الگوریتمی

سوگیری الگوریتمی زمانی رخ می‌دهد که یک سیستم هوش مصنوعی به دلیل ویژگی‌های داده‌های آموزشی، نحوه طراحی الگوریتم یا شیوه استفاده از داده‌ها، نتایج ناعادلانه یا نامتوازن تولید کند. اگر داده‌های آموزشی یک مدل دارای سوگیری باشند، مدل ممکن است همان الگو را یاد گرفته و در هنگام تصمیم‌گیری بازتولید کند. [111] برای مثال، اگر مجموعه داده آموزشی یک سیستم تشخیص چهره از نظر تنوع افراد متوازن نباشد، عملکرد مدل ممکن است برای گروه‌های مختلف یکسان نباشد. چنین مسئله‌ای در کاربردهایی که تصمیم سیستم بر زندگی یا حقوق افراد تأثیر می‌گذارد اهمیت بیشتری دارد. برای کاهش سوگیری می‌توان از روش‌هایی مانند بررسی کیفیت و تنوع داده‌ها، ارزیابی عملکرد مدل برای گروه‌های مختلف، استفاده از داده‌های متوازن و نظارت انسانی استفاده کرد.

#### ۴-۱۴-۳ امنیت مدل‌های هوش مصنوعی

امنیت مدل‌های هوش مصنوعی به محافظت از مدل، داده‌های آموزشی، ورودی‌ها و خروجی‌های آن در برابر تهدیدهای مختلف اشاره دارد. افزایش استفاده از هوش مصنوعی باعث شده است مدل‌های یادگیری ماشین نیز به یکی از اهداف حملات سایبری تبدیل شوند. یکی از تهدیدها حمله به داده‌های آموزشی یا Data Poisoning است که در آن مهاجم داده‌های مورد استفاده برای آموزش مدل را دستکاری می‌کند. در نتیجه، مدل ممکن است الگوهای نادرست را یاد بگیرد. نوع دیگری از حملات، حملات خصمانه یا Adversarial Attacks است. در این حملات، ورودی به شکل بسیار جزئی تغییر داده می‌شود، اما همین تغییر می‌تواند باعث تصمیم اشتباه مدل شود. این موضوع در سامانه‌های حساس مانند خودروهای خودران، تشخیص تصویر و سیستم‌های امنیتی اهمیت زیادی دارد. [113] همچنین در مدل‌های زبانی بزرگ،

حملاتی مانند Prompt Injection می‌توانند رفتار مدل را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین امنیت هوش مصنوعی باید از مرحله جمع‌آوری داده تا آموزش، استقرار و استفاده نهایی مدل مورد توجه قرار گیرد.

#### ۴-۱۴-۴ تفسیرپذیری

تفسیرپذیری به میزان توانایی انسان برای درک چگونگی رسیدن سیستم هوش مصنوعی به یک نتیجه اشاره دارد. برخی الگوریتم‌های ساده مانند درخت تصمیم را می‌توان نسبتاً آسان تحلیل کرد، اما مدل‌های پیچیده یادگیری عمیق دارای تعداد زیادی پارامتر هستند و توضیح دقیق فرایند تصمیم‌گیری آن‌ها دشوارتر است. این مسئله با عنوان جعبه سیاه یا Black Box نیز مطرح می‌شود. در کاربردهای حساس، صرفاً دانستن نتیجه مدل کافی نیست و لازم است مشخص شود چرا مدل به آن نتیجه رسیده است. [114] تفسیرپذیری می‌تواند به اعتماد کاربران، شناسایی خطا، ارزیابی سوگیری و کنترل عملکرد مدل کمک کند. روش‌های مختلف هوش مصنوعی توضیح‌پذیر یا Explainable AI (XAI) با هدف افزایش قابلیت درک تصمیم‌های مدل توسعه یافته‌اند.

#### ۴-۱۴-۵ قابلیت اعتماد

قابلیت اعتماد یکی از عوامل مهم در ارزیابی سیستم‌های هوش مصنوعی است. یک سیستم قابل اعتماد باید در شرایط مختلف عملکرد پایدار داشته باشد و خروجی‌های آن تا حد قابل قبول دقیق، ایمن و قابل پیش‌بینی باشند. قابلیت اعتماد تنها به دقت مدل محدود نمی‌شود؛ بلکه عواملی مانند پایداری، امنیت، تفسیرپذیری، مقاومت در برابر داده‌های نامناسب، شفافیت و امکان نظارت انسانی نیز در آن نقش دارند [111].

در مدل‌های مولد نیز قابلیت اعتماد اهمیت بیشتری پیدا می‌کند؛ زیرا ممکن است مدل پاسخ‌هایی نادرست هستند. بنابراین در factual تولید کند که از نظر ظاهری صحیح به نظر می‌رسند اما از نظر کاربردهای حساس، خروجی سیستم باید با منابع معتبر یا نظارت انسانی بررسی شود.

### ۴-۱۵ جمع‌بندی فصل چهارم

در این فصل کاربردهای مهم هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی در حوزه‌هایی مانند مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پایگاه‌های داده، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، سیستم‌های توصیه‌گر، رایانش ابری، رایانش لبه‌ای، اینترنت اشیا و کلان‌داده کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. در مهندسی نرم‌افزار، هوش مصنوعی می‌تواند در تولید کد، تشخیص خطا، آزمون و نگهداری نرم‌افزار مورد استفاده قرار گیرد. در امنیت سایبری نیز الگوریتم‌های هوشمند برای تشخیص نفوذ، شناسایی بدافزار و تشخیص ناهنجاری کاربرد دارند. در پایگاه‌های داده، روش‌های یادگیری ماشین می‌توانند به بهینه‌سازی پرس‌وجو و مدیریت هوشمند داده‌ها

کمک کنند. همچنین بررسی کاربردهای پردازش زبان طبیعی نشان داد که مدل‌های مبتنی بر یادگیری عمیق و Transformer زمینه توسعه سامانه‌هایی مانند ترجمه ماشینی، چت‌بات‌ها، خلاصه‌سازی متن و مدل‌های زبانی بزرگ را فراهم کرده‌اند. در بینایی ماشین نیز هوش مصنوعی برای تشخیص اشیاء، تشخیص چهره، طبقه‌بندی تصاویر و تحلیل محتوای تصویری استفاده می‌شود. در کنار این قابلیت‌ها، استفاده گسترده از هوش مصنوعی با محدودیت‌ها و چالش‌هایی مانند نیاز به داده باکیفیت، هزینه محاسباتی، حریم خصوصی، سوگیری الگوریتمی، امنیت مدل، تفسیرپذیری و قابلیت اعتماد همراه است. بنابراین نمی‌توان موفقیت یک سیستم هوش مصنوعی را تنها بر اساس دقت آن ارزیابی کرد و لازم است جنبه‌های فنی، اخلاقی و امنیتی نیز هم‌زمان مورد توجه قرار گیرند. در مجموع، هوش مصنوعی ظرفیت بالایی برای افزایش بهره‌وری، خودکارسازی فرایندها، تحلیل داده و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در علوم کامپیوتر دارد؛ با این حال، استفاده مؤثر و مسئولانه از آن مستلزم طراحی مناسب مدل، استفاده از داده‌های معتبر، ارزیابی مستمر، حفاظت از اطلاعات و وجود سازوکارهای نظارت انسانی است.

## فصل پنجم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

### ۵-۱ مقدمه

در فصل‌های پیشین، هوش مصنوعی از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در فصل اول، مسئله پژوهش، اهمیت و ضرورت بررسی هوش مصنوعی، اهداف، پرسش‌ها، روش کلی تحقیق و مفاهیم اساسی مرتبط با آن تشریح شد. در فصل دوم، مبانی نظری، روند تحول هوش مصنوعی، شاخه‌های اصلی آن، روش‌های یادگیری ماشین، الگوریتم‌های مهم، شبکه‌های عصبی، یادگیری عمیق، معماری Transformer و هوش مصنوعی مولد مورد بررسی قرار گرفت. در فصل سوم، روش تحلیل و معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های هوش مصنوعی و عوامل مؤثر بر انتخاب الگوریتم مناسب بررسی شد. در فصل چهارم

نیز کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر و همچنین مزایا، محدودیت‌ها و چالش‌های اخلاقی و امنیتی آن مورد تحلیل قرار گرفت. هدف این فصل، جمع‌بندی یافته‌های حاصل از بررسی‌های انجام‌شده، پاسخ به پرسش‌های تحقیق، ارزیابی میزان تحقق اهداف و ارائه نتیجه‌گیری نهایی است. همچنین پیشنهادهایی برای استفاده کاربردی‌تر از هوش مصنوعی و مسیرهای پژوهشی آینده ارائه می‌شود.

## ۲-۵ جمع‌بندی کلی پژوهش

پژوهش حاضر با هدف بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر انجام شد. بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که هوش مصنوعی یک حوزه مستقل و محدود نیست، بلکه مجموعه‌ای گسترده از روش‌ها و فناوری‌ها را دربرمی‌گیرد که از الگوریتم‌های کلاسیک یادگیری ماشین تا شبکه‌های عصبی عمیق، مدل‌های Transformer و مدل‌های زبانی بزرگ را شامل می‌شود. در این پژوهش مشخص شد که یادگیری ماشین یکی از مهم‌ترین زیرشاخه‌های هوش مصنوعی است و روش‌های نظارت‌شده، بدون نظارت، نیمه‌نظارتی و تقویتی، هر کدام برای مسائل خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. الگوریتم‌هایی مانند رگرسیون، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و K-Means نیز بر اساس نوع مسئله، نوع داده و هدف تحلیل، کاربردهای متفاوتی دارند. همچنین بررسی یادگیری عمیق نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی، CNN، RNN، LSTM و Transformer نقش مهمی در توسعه سامانه‌های هوشمند داشته‌اند. به‌ویژه معماری Transformer زمینه پیشرفت سریع مدل‌های زبانی بزرگ و بسیاری از کاربردهای جدید هوش مصنوعی مولد را فراهم کرده است. از نظر کاربرد نیز مشخص شد که هوش مصنوعی در حوزه‌هایی مانند مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پایگاه‌های داده، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، سیستم‌های توصیه‌گر، رایانش ابری، رایانش لبه‌ای، اینترنت اشیا و کلان‌داده قابلیت استفاده گسترده دارد.

## ۳-۵ بحث و تحلیل یافته‌های پژوهش

یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش این است که انتخاب الگوریتم مناسب به مسئله، نوع داده و محدودیت‌های سیستم وابسته است و نمی‌توان یک الگوریتم را برای تمام مسائل هوش مصنوعی بهترین گزینه دانست. برای مثال، الگوریتم‌های ساده‌تر یادگیری ماشین در برخی مسائل با داده‌های محدود می‌توانند عملکرد مناسبی داشته باشند، در حالی که مسائل پیچیده تصویری، زبانی و چندرسانه‌ای معمولاً به مدل‌های عمیق‌تر نیاز دارند. همچنین مشخص شد که افزایش پیچیدگی مدل لزوماً به معنای مناسب‌تر

بودن آن نیست. مدل‌های عمیق و مدل‌های زبانی بزرگ معمولاً به داده، توان پردازشی و زمان آموزش بیشتری نیاز دارند. بنابراین در انتخاب الگوریتم باید علاوه بر دقت، معیارهایی مانند سرعت، پیچیدگی محاسباتی، میزان داده موردنیاز، هزینه پردازشی، قابلیت تعمیم و تفسیرپذیری نیز در نظر گرفته شوند. از سوی دیگر، بررسی کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر نشان داد که ارزش واقعی این فناوری تنها در توانایی پیش‌بینی یا طبقه‌بندی نیست، بلکه در خودکارسازی، تحلیل داده، کشف الگو، تصمیم‌گیری و ایجاد سامانه‌های هوشمند نیز نمایان می‌شود. یافته دیگر پژوهش، اهمیت کیفیت داده است. حتی پیشرفته‌ترین الگوریتم‌ها نیز در صورت آموزش با داده‌های ناقص، نامتوازن یا دارای سوگیری ممکن است نتایج نامناسبی تولید کنند. بنابراین کیفیت داده یکی از عوامل اساسی موفقیت یک سیستم هوش مصنوعی محسوب می‌شود. [115]

## ۴-۵ پاسخ به پرسش‌های تحقیق

### ۴-۵-۱ پاسخ به پرسش اصلی

پرسش اصلی: هوش مصنوعی، روش‌ها و الگوریتم‌های اصلی آن چه جایگاهی در علوم کامپیوتر دارند و مهم‌ترین کاربردهای آن چیست؟ بر اساس یافته‌های پژوهش، هوش مصنوعی یکی از فناوری‌های اساسی و تأثیرگذار در علوم کامپیوتر است و طیف وسیعی از روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردها را شامل می‌شود. یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین و هوش مصنوعی مولد از مهم‌ترین حوزه‌های آن هستند. این فناوری‌ها در زمینه‌هایی مانند مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پایگاه‌های داده، رباتیک، پردازش متن و تصویر، رایانش ابری و اینترنت اشیا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۴-۵-۲ پاسخ به پرسش‌های فرعی

پرسش اول: مهم‌ترین روش‌های یادگیری ماشین کدام‌اند؟

یادگیری نظارت‌شده، بدون نظارت، نیمه‌نظارتی و تقویتی از مهم‌ترین روش‌های یادگیری ماشین هستند. انتخاب هر روش به نوع داده و هدف مسئله بستگی دارد.

پرسش دوم: مهم‌ترین الگوریتم‌های هوش مصنوعی کدام‌اند؟

رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، K-Nearest Neighbors و K-Means از الگوریتم‌های مهم یادگیری ماشین هستند. در حوزه یادگیری عمیق نیز شبکه‌های عصبی، CNN، RNN، LSTM و Transformer اهمیت ویژه‌ای دارند.

پرسش سوم: مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر چیست؟

از مهم‌ترین کاربردها می‌توان به تولید و آزمون نرم‌افزار، تشخیص تهدیدهای سایبری، بهینه‌سازی پایگاه داده، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، سیستم‌های توصیه‌گر، رایانش ابری، رایانش لبه‌ای و اینترنت اشیا اشاره کرد.

پرسش چهارم: مهم‌ترین محدودیت‌های هوش مصنوعی چیست؟

نیاز به داده باکیفیت، هزینه محاسباتی، پیچیدگی مدل، بیش‌برازش، تفسیرپذیری محدود، سوگیری داده و مسائل مربوط به حریم خصوصی از مهم‌ترین محدودیت‌ها هستند.

## ۵-۵ بررسی میزان تحقق اهداف تحقیق

بررسی نتایج پژوهش نشان می‌دهد اهداف تعیین‌شده در ابتدای تحقیق تا حد زیادی تحقق یافته‌اند. در این پژوهش ابتدا مفاهیم بنیادی هوش مصنوعی بررسی شد و سپس روش‌ها و الگوریتم‌های مهم یادگیری ماشین و یادگیری عمیق مورد تحلیل قرار گرفتند. همچنین معماری Transformer و هوش مصنوعی مولد به‌عنوان بخش‌های مهم و جدیدتر این حوزه بررسی شدند. در ادامه، کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر مورد بررسی قرار گرفت و مزایا، محدودیت‌ها و چالش‌های اخلاقی و امنیتی آن تحلیل شد. در نتیجه می‌توان گفت هدف اصلی پژوهش، یعنی ارائه یک بررسی جامع از مفاهیم، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر تحقق یافته است.

## ۵-۶ مهم‌ترین یافته‌ها و دستاوردهای پژوهش

مهم‌ترین یافته‌های پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

1. هوش مصنوعی یکی از حوزه‌های بنیادی و تأثیرگذار علوم کامپیوتر است .
2. یادگیری ماشین یکی از مهم‌ترین روش‌های ایجاد سیستم‌های هوشمند محسوب می‌شود .
3. یادگیری عمیق امکان حل مسائل پیچیده‌تر در حوزه‌هایی مانند تصویر و زبان را فراهم کرده است .
4. معماری Transformer نقش مهمی در توسعه مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی مولد داشته است .
5. انتخاب الگوریتم باید بر اساس نوع مسئله، داده، دقت موردنیاز و منابع محاسباتی انجام شود .
6. کیفیت و حجم داده تأثیر مستقیمی بر عملکرد مدل‌های هوش مصنوعی دارد .
7. هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف علوم کامپیوتر کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده است .
8. استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند موجب افزایش سرعت، خودکارسازی و بهبود تصمیم‌گیری شود .
9. پیچیدگی مدل‌های پیشرفته می‌تواند هزینه محاسباتی و دشواری تفسیر را افزایش دهد .

10. حریم خصوصی، سوگیری، امنیت و قابلیت اعتماد از چالش‌های اساسی توسعه هوش مصنوعی هستند.

## ۵-۷ مزایا و محدودیت‌های استفاده از هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر

استفاده از هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر مزایای متعددی دارد. افزایش سرعت پردازش، خودکارسازی فعالیت‌های تکراری، تشخیص الگوهای پیچیده، تحلیل حجم بالای داده و پشتیبانی از تصمیم‌گیری از مهم‌ترین مزایای آن هستند. در مقابل، محدودیت‌هایی مانند نیاز به داده‌های مناسب، هزینه آموزش مدل‌های پیچیده، مصرف منابع محاسباتی، دشواری تفسیر برخی مدل‌ها و احتمال تولید خروجی نادرست وجود دارد. علاوه بر این، مسائل مربوط به حریم خصوصی، سوگیری الگوریتمی و امنیت مدل‌ها باید در زمان طراحی و استفاده از سیستم‌های هوش مصنوعی مورد توجه قرار گیرد. [116] بنابراین، استفاده موفق از هوش مصنوعی نیازمند ایجاد توازن میان دقت، هزینه، سرعت، امنیت، تفسیرپذیری و قابلیت اعتماد است.

## ۵-۸ نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، می‌توان نتیجه گرفت که هوش مصنوعی به یکی از مهم‌ترین فناوری‌های تحول‌آفرین در علوم کامپیوتر تبدیل شده است. این فناوری از روش‌های کلاسیک یادگیری ماشین تا شبکه‌های عصبی عمیق، Transformer و مدل‌های مولد توسعه یافته و در طیف گسترده‌ای از مسائل علمی و کاربردی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان داد که هیچ الگوریتمی برای تمام مسائل بهترین عملکرد را ندارد و انتخاب روش مناسب باید بر اساس ویژگی‌های مسئله و داده انجام شود. همچنین مشخص شد که پیشرفت سخت‌افزار، افزایش داده‌های دیجیتال و توسعه معماری‌های جدید، زمینه رشد سریع‌تر هوش مصنوعی را فراهم کرده است. در نهایت، هوش مصنوعی می‌تواند نقش مهمی در آینده علوم کامپیوتر داشته باشد؛ اما استفاده مؤثر از آن تنها به توسعه الگوریتم‌های دقیق‌تر وابسته نیست، بلکه کیفیت داده، امنیت، حریم خصوصی، تفسیرپذیری، قابلیت اعتماد و نظارت انسانی نیز باید هم‌زمان مورد توجه قرار گیرند.

## ۵-۹ پیشنهاد‌های کاربردی

با توجه به نتایج پژوهش، پیشنهاد‌های کاربردی زیر ارائه می‌شود:

1. انتخاب الگوریتم هوش مصنوعی بر اساس نوع مسئله و ویژگی‌های داده انجام شود.

2. پیش از آموزش مدل، کیفیت، کامل بودن و تعادل داده‌ها بررسی شود .
3. در کاربردهای حساس از نظارت انسانی در کنار تصمیم‌گیری هوش مصنوعی استفاده شود .
4. برای داده‌های حساس، روش‌های مناسب حفظ حریم خصوصی و کنترل دسترسی به کار گرفته شود .
5. در انتخاب مدل، علاوه بر دقت، هزینه محاسباتی و سرعت پردازش نیز در نظر گرفته شود .
6. برای کاربردهای سازمانی، عملکرد مدل پس از استقرار به‌صورت مستمر ارزیابی شود .
7. در کاربردهای امنیت سایبری از هوش مصنوعی برای تشخیص ناهنجاری و شناسایی تهدیدهای جدید استفاده شود .
8. در مهندسی نرم‌افزار، استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی برای تولید، آزمون و بررسی کد همراه با بازبینی انسانی انجام شود .
9. در سیستم‌های توصیه‌گر و سامانه‌های شخصی‌سازی، حفاظت از داده‌های کاربران مورد توجه قرار گیرد .
10. در توسعه سامانه‌های هوش مصنوعی، اصول اخلاقی و امنیتی از مرحله طراحی در نظر گرفته شوند .

## ۱۰-۵ پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده

با توجه به روند سریع پیشرفت هوش مصنوعی، زمینه‌های متعددی برای تحقیقات آینده وجود دارد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به بررسی و مقایسه تجربی الگوریتم‌های مختلف هوش مصنوعی بر روی مجموعه داده‌های واقعی بپردازند. همچنین بررسی مدل‌های زبانی بزرگ، هوش مصنوعی مولد، مدل‌های چندوجهی، یادگیری فدرال، هوش مصنوعی لبه‌ای و روش‌های Explainable AI می‌تواند موضوع مناسبی برای تحقیقات آینده باشد. پژوهش‌های آینده می‌توانند عملکرد مدل‌های مختلف را از نظر دقت، سرعت، مصرف انرژی، هزینه محاسباتی، تفسیرپذیری و امنیت با یکدیگر مقایسه کنند. همچنین بررسی روش‌های کاهش سوگیری، افزایش قابلیت اعتماد و حفاظت از حریم خصوصی در سیستم‌های هوش مصنوعی می‌تواند به توسعه سامانه‌های ایمن‌تر و مسئولانه‌تر کمک کند. در نهایت، انجام پژوهش‌های کاربردی و پیاده‌سازی مدل‌های هوش مصنوعی در حوزه‌هایی مانند امنیت سایبری، مهندسی نرم‌افزار، اینترنت اشیا، رباتیک، پایگاه‌های داده و رایانش لبه‌ای می‌تواند مسیر مناسبی برای ادامه این پژوهش باشد.

۱۰-۵ پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده

۱۰-۵-۱ توسعه الگوریتم‌های دقیق‌تر و کارآمدتر

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده بر توسعه الگوریتم‌هایی تمرکز کنند که علاوه بر افزایش دقت، از نظر سرعت پردازش و مصرف منابع محاسباتی نیز کارآمدتر باشند. مدل‌های پیشرفته هوش مصنوعی، به‌ویژه مدل‌های یادگیری عمیق و مدل‌های زبانی بزرگ، معمولاً به داده و توان پردازشی قابل توجهی نیاز دارند. بنابراین طراحی مدل‌های سبک‌تر، بهینه‌سازی معماری شبکه‌ها و استفاده از روش‌های کاهش حجم مدل می‌تواند زمینه استفاده گسترده‌تر از هوش مصنوعی را در سامانه‌هایی با منابع محدود فراهم کند. همچنین پیشنهاد می‌شود الگوریتم‌های مختلف بر اساس معیارهای مشترکی مانند دقت، سرعت، پیچیدگی محاسباتی، مصرف انرژی و میزان داده موردنیاز به‌صورت تجربی مقایسه شوند تا مناسب‌ترین الگوریتم برای هر کاربرد مشخص شود.

#### ۵-۱۰-۲ توسعه هوش مصنوعی قابل توضیح

با افزایش استفاده از مدل‌های پیچیده، توسعه روش‌های هوش مصنوعی قابل توضیح یا Explainable AI اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. پژوهش‌های آینده می‌توانند بر توسعه روش‌هایی تمرکز کنند که نحوه رسیدن مدل به یک تصمیم را برای کاربران قابل درک‌تر کنند. افزایش تفسیرپذیری می‌تواند در شناسایی خطاهای مدل، کاهش سوگیری، افزایش اعتماد کاربران و استفاده از هوش مصنوعی در حوزه‌های حساس نقش مهمی داشته باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود مدل‌های هوش مصنوعی علاوه بر دقت، از نظر قابلیت توضیح و شفافیت نیز ارزیابی شوند.

#### ۵-۱۰-۳ افزایش امنیت سیستم‌های هوشمند

با گسترش استفاده از هوش مصنوعی، حفاظت از مدل‌ها و داده‌های مورد استفاده آن‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. پژوهش‌های آینده می‌توانند روش‌های مقابله با حملات خصمانه، دستکاری داده‌های آموزشی، سرقت مدل، حملات به مدل‌های زبانی و سایر تهدیدهای مرتبط با سیستم‌های هوشمند را بررسی کنند. همچنین توسعه روش‌های تشخیص حمله و ایجاد مدل‌های مقاوم در برابر داده‌های مخرب می‌تواند امنیت سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی را افزایش دهد. توجه هم‌زمان به امنیت در مرحله آموزش و مرحله استفاده از مدل می‌تواند از آسیب‌پذیری‌های احتمالی جلوگیری کند.

#### ۵-۱۰-۴ حفظ حریم خصوصی داده‌ها

با توجه به وابستگی بسیاری از مدل‌های هوش مصنوعی به حجم زیادی از داده، پژوهش‌های آینده باید روش‌های مؤثر برای حفاظت از اطلاعات کاربران را بررسی کنند. استفاده از روش‌هایی مانند یادگیری فدرال، ناشناس‌سازی داده‌ها، رمزنگاری و تکنیک‌های حفظ حریم خصوصی می‌تواند زمینه توسعه سامانه‌های هوشمند ایمن‌تر را فراهم کند.

همچنین لازم است پژوهش‌های بیشتری درباره نحوه استفاده مسئولانه از داده‌های شخصی و تعیین حدود دسترسی سیستم‌های هوش مصنوعی به اطلاعات کاربران انجام شود. [117]

#### ۵-۱۰-۵ توسعه کاربرد هوش مصنوعی در علوم کامپیوتر

با توجه به ظرفیت بالای هوش مصنوعی، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به توسعه کاربردهای عملی آن در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر بپردازند. در مهندسی نرم‌افزار می‌توان از هوش مصنوعی برای تولید و آزمون کد، تشخیص خطا و نگهداری نرم‌افزار استفاده کرد. در امنیت سایبری نیز استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای تشخیص ناهنجاری و تهدیدهای جدید می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

همچنین توسعه هوش مصنوعی در پایگاه‌های داده، رایانش ابری، رایانش لبه‌ای، اینترنت اشیا، رباتیک، پردازش زبان طبیعی و بینایی ماشین می‌تواند زمینه ایجاد سامانه‌های هوشمندتر و کارآمدتر را فراهم کند

## ۱۱-۵ جمع‌بندی فصل پنجم

در این فصل، نتایج کلی پژوهش با موضوع «بررسی جامع هوش مصنوعی، روش‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردهای آن در علوم کامپیوتر» جمع‌بندی شد. ابتدا مهم‌ترین یافته‌های پژوهش و نتایج حاصل از بررسی روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی ارائه شد و سپس میزان تحقق اهداف و پاسخ پرسش‌های تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هوش مصنوعی طیف گسترده‌ای از روش‌ها و الگوریتم‌ها را دربرمی‌گیرد و هر یک از این روش‌ها با توجه به نوع مسئله، داده‌های موجود و محدودیت‌های محاسباتی می‌توانند کاربرد متفاوتی داشته باشند. همچنین مشخص شد که یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی، Transformer و هوش مصنوعی مولد نقش مهمی در توسعه سامانه‌های هوشمند دارند. بررسی کاربردهای هوش مصنوعی نیز نشان داد که این فناوری در بسیاری از حوزه‌های علوم کامپیوتر، از جمله مهندسی نرم‌افزار، امنیت سایبری، پایگاه‌های داده، پردازش زبان طبیعی، بینایی ماشین، رباتیک، رایانش ابری، رایانش لبه‌ای، اینترنت اشیا و کلان‌داده قابل استفاده است. در کنار مزایای قابل توجه، محدودیت‌هایی مانند نیاز به داده باکیفیت، هزینه محاسباتی، پیچیدگی مدل‌ها، تفسیرپذیری محدود، سوگیری، تهدیدهای امنیتی و مسائل مربوط به حریم خصوصی نیز شناسایی شد. بنابراین توسعه آینده هوش مصنوعی باید صرفاً بر افزایش قدرت و دقت مدل‌ها متمرکز نباشد، بلکه امنیت، شفافیت، تفسیرپذیری، قابلیت اعتماد و حفظ حریم خصوصی نیز هم‌زمان مورد توجه قرار گیرد. در پایان، توسعه الگوریتم‌های دقیق‌تر و کم‌هزینه‌تر، گسترش هوش مصنوعی قابل توضیح، افزایش امنیت مدل‌ها، حفاظت از داده‌های کاربران و توسعه کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر به‌عنوان مهم‌ترین مسیرهای پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده معرفی شدند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که هوش مصنوعی ظرفیت بالایی برای تحول علوم کامپیوتر دارد و توسعه مسئولانه و هدفمند آن می‌تواند نقش مهمی در ایجاد سامانه‌های هوشمند، کارآمد و قابل اعتماد ایفا کند.

**بخش ششم: پیوست‌ها**

**پیوست ۱: جداول تکمیلی**

در این پیوست، جداول تکمیلی مربوط به مقایسه روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی ارائه می‌شود که به دلیل حجم یا جزئیات زیاد، در متن اصلی پایان‌نامه قرار نگرفته‌اند.

### جدول پیوست ۱-۱: مقایسه الگوریتم‌های مهم یادگیری ماشین

| محدودیت اصلی                  | مزیت اصلی                              | کاربرد اصلی          | نوع یادگیری | الگوریتم            |
|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------|-------------|---------------------|
| مناسب نبودن برای روابط پیچیده | ساده و سریع                            | پیش‌بینی مقادیر عددی | نظارت‌شده   | رگرسیون خطی         |
| محدودیت در روابط غیرخطی       | تفسیرپذیری مناسب                       | طبقه‌بندی            | نظارت‌شده   | رگرسیون لجستیک      |
| احتمال بیش‌برازش              | قابلیت تفسیر بالا                      | طبقه‌بندی و رگرسیون  | نظارت‌شده   | درخت تصمیم          |
| هزینه محاسباتی بیشتر          | دقت مناسب و مقاومت در برابر بیش‌برازش  | طبقه‌بندی و رگرسیون  | نظارت‌شده   | جنگل تصادفی         |
| حساسیت به انتخاب پارامترها    | عملکرد مناسب در داده‌های با ابعاد بالا | طبقه‌بندی            | نظارت‌شده   | ماشین بردار پشتیبان |
| هزینه پردازش در داده‌های بزرگ | ساده و بدون آموزش پیچیده               | طبقه‌بندی و پیش‌بینی | نظارت‌شده   | KNN                 |
| وابستگی به تعداد خوشه‌ها      | ساده و سریع                            | خوشه‌بندی            | بدون نظارت  | K-Means             |

### پیوست ۲: اطلاعات تکمیلی الگوریتم‌ها

این پیوست شامل اطلاعات تکمیلی درباره الگوریتم‌ها و روش‌هایی است که در فصل‌های دوم و سوم پایان‌نامه بررسی شده‌اند.

#### ۲-۱ رگرسیون خطی

رگرسیون خطی یکی از روش‌های پایه یادگیری ماشین برای پیش‌بینی متغیرهای پیوسته است و تلاش می‌کند رابطه میان متغیرهای ورودی و خروجی را به صورت یک رابطه خطی مدل‌سازی کند.

#### ۲-۲ درخت تصمیم

درخت تصمیم با ایجاد مجموعه‌ای از قواعد تصمیم‌گیری، داده‌ها را به گروه‌های مختلف تقسیم می‌کند. ساختار درختی این الگوریتم باعث می‌شود فرایند تصمیم‌گیری آن نسبتاً قابل تفسیر باشد.

#### ۲-۳ جنگل تصادفی

جنگل تصادفی از مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم تشکیل می‌شود و با ترکیب نتایج آن‌ها می‌تواند دقت و پایداری مدل را افزایش دهد.

#### ۲-۴ ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان تلاش می‌کند مرزی مناسب برای جداسازی داده‌ها ایجاد کند. این روش به‌ویژه در مسائل طبقه‌بندی و داده‌هایی با تعداد ویژگی‌های زیاد کاربرد دارد.

#### K-Means ۲-۵

K-Means یکی از الگوریتم‌های رایج یادگیری بدون نظارت است که داده‌ها را بر اساس شباهت به تعدادی خوشه تقسیم می‌کند.

#### ۲-۶ شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی از مجموعه‌ای از نورون‌های مصنوعی تشکیل شده است که در قالب لایه‌های مختلف سازمان‌دهی می‌شوند. این شبکه‌ها می‌توانند روابط پیچیده میان داده‌های ورودی و خروجی را یاد بگیرند.

#### CNN ۲-۷

شبکه عصبی کانولوشنی یا CNN بیشتر در پردازش تصاویر و داده‌های دارای ساختار مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند ویژگی‌های مختلف تصویر را به‌صورت خودکار استخراج کند.

#### RNN ۲-۸

شبکه عصبی بازگشتی یا RNN برای داده‌های ترتیبی طراحی شده است و می‌تواند اطلاعات مراحل قبلی را در پردازش داده‌های جدید مورد استفاده قرار دهد.

#### LSTM ۲-۹

LSTM نوعی شبکه بازگشتی است که برای مدیریت وابستگی‌های بلندمدت در داده‌های ترتیبی توسعه یافته و در کاربردهای پردازش زبان و داده‌های زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### Transformer ۲-۱۰

Transformer معماری مهمی در یادگیری عمیق است که از سازوکار توجه برای پردازش روابط میان بخش‌های مختلف داده استفاده می‌کند. این معماری نقش مهمی در توسعه مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی مولد داشته است.

پیوست ۳: نمونه کدها در صورت نیاز

با توجه به اینکه موضوع پژوهش حاضر ماهیت مروری و تحلیلی دارد و اجرای یک سامانه نرم‌افزاری مستقل جزء اهداف اصلی پژوهش نیست، ارائه کدهای طولانی در متن اصلی پایان‌نامه ضروری نیست. در

صورت درخواست استاد راهنما، می‌توان نمونه کدهای کوتاه مربوط به پیاده‌سازی الگوریتم‌های بررسی‌شده را در این بخش قرار داد. این کدها می‌توانند شامل نمونه‌هایی از اجرای رگرسیون خطی، درخت تصمیم، K-Means، شبکه عصبی و طبقه‌بندی با استفاده از یادگیری ماشین باشند. کدهای کامل و طولانی، در صورت وجود، بهتر است به صورت فایل جداگانه همراه نسخه الکترونیکی پایان‌نامه ارائه شوند و در متن اصلی از توضیح جزئیات غیرضروری برنامه‌نویسی خودداری شود.

## بخش هفتم: منابع و مآخذ

### منابع فارسی

[27] تقی‌زاده، مسلم و خردمندینا، سهیلا، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دوره ۳۲، شماره ۴، ۱۴۰۳.

[مشاهده منبع فارسی](#)

[28] رحیم‌دل، شیرین، «تعریف یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به زبان ساده»، ابرفردوسی، ۱۴۰۳.

[مشاهده منبع فارسی](#)

[32] تقی‌زاده، مسلم و خردمندینا، سهیلا، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۳.

[نسخه مقاله در DOI](#)

[33] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، تهران، ۱۴۰۳.

[37] تقی‌زاده، مسلم و خردمندینا، سهیلا، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۳.

[مشاهده مقاله فارسی](#)

[38] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، تهران، ۱۴۰۳.

[39] پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، «هوش مصنوعی و کاربردهای آن در تحول دیجیتال»، تهران، ۱۴۰۲.

[44] پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، «گزارش‌ها و مطالعات حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین»، تهران، ۱۴۰۲.

[45] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، تهران، ۱۴۰۳.

[50] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، ۱۴۰۳.

- [51] پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، گزارش‌ها و مطالعات تخصصی حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، ۱۴۰۲.
- [55] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، تهران، ۱۴۰۳.
- [56] پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، «گزارش‌ها و مطالعات تخصصی حوزه هوش مصنوعی مولد و مدل‌های زبانی بزرگ»، تهران، ۱۴۰۲.
- [61] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، مطالعات و گزارش‌های تخصصی مرتبط با سیاست‌گذاری و توسعه هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۲-۱۴۰۳.
- [66] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، تهران، ۱۴۰۳.
- [67] پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، «مطالعات و گزارش‌های تخصصی حوزه هوش مصنوعی و فناوری‌های نوین»، تهران، ۱۴۰۲.
- [68] شورای عالی انقلاب فرهنگی، «سند ملی هوش مصنوعی جمهوری اسلامی ایران»، تهران، ۱۴۰۳.
- [97] هادی ویسی، کبری مفاخری، سعید باقری شورکی، «مبانی شبکه‌های عصبی: معماری، الگوریتم‌ها و کاربردها»، انتشارات نص، چاپ پنجم، ۱۴۰۲.
- [98] محمد صنیعی‌آبادی، زهره جبل‌عاملیان، «الگوریتم‌های تکاملی و محاسبات زیستی»، انتشارات نیاز دانش، ۱۴۰۲.
- [99] مهرنوش شمس‌فرد، محمود بی‌جن‌خان، «پردازش متن و گفتار فارسی: مروری بر مبانی نظری و آخرین یافته‌های پژوهشی»، انتشارات سمت، ۱۴۰۳.
- [100] گروه آموزشی دانشگاه تهران، «روش‌های یادگیری ماشین در پردازش زبان طبیعی»، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، ۱۴۰۲.
- [101] مجتمع فنی تهران، «چطور مهندس بینایی ماشین شویم؟»، ۱۴۰۲.
- [102] علی مظاهری، «کتابخانه Hezar؛ هوش مصنوعی برای زبان و تصویر فارسی»، ۱۴۰۴.

« [103] کاربرد هوش مصنوعی و رباتیک در توسعه فناوری‌های نوین»، منابع علمی و پژوهشی حوزه هوش مصنوعی و رباتیک، ۱۴۰۲.

[104] حسنی، محمدمهدی؛ سرمدی، عشرت، «یک سیستم توصیه‌گر در اینترنت اشیا با استفاده از ماشین بردار پشتیبان و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس»، ۱۴۰۳/۱۴۰۲. این پژوهش کاربرد سیستم توصیه‌گر و الگوریتم یادگیری ماشین در محیط اینترنت اشیا را بررسی می‌کند.

« [105] هوش مصنوعی در لبه؛ مفاهیم، کاربردها و نقش آن در پردازش کم‌تأخیر»، منابع فارسی حوزه Edge AI، ۱۴۰۲.

[106] جهانفر، فاطمه‌زهرا؛ ولایتی‌فر، محمدرضا، «تحلیل چالش‌ها و راهکارهای توسعه اینترنت اشیا با رویکرد تلفیق هوش مصنوعی و رایانش لبه‌ای»، کنفرانس ملی فناوری اطلاعات، نانو تکنولوژی، هوش مصنوعی و آینده‌پژوهی فناوری.

[107] عزیزی، سعدون؛ امینی، یاسین، کلان‌داده‌ها و اینترنت اشیا: اصول و ابزارها، انتشارات دانشگاه کردستان. این منبع مباحث کلان‌داده، ذخیره‌سازی، پردازش، داده‌کاوی، یادگیری ماشین و ارتباط آن با اینترنت اشیا را پوشش می‌دهد.

« [108] شاخص هوش مصنوعی ایران ۱۴۰۳»، گزارش تحلیلی وضعیت پژوهش و انتشار علمی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳.

[109] تقی‌زاده، مسلم؛ خردمندنیاس، سهیلا، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، ماه‌نامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دوره ۳۲، شماره ۴، ۱۴۰۳.

« [110] سند ملی هوش مصنوعی جمهوری اسلامی ایران»، شورای عالی انقلاب فرهنگی، ۱۴۰۳.

[111] تقی‌زاده، مسلم؛ خردمندنیاس، سهیلا، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۳.

« [112] سند ملی هوش مصنوعی جمهوری اسلامی ایران»، شورای عالی انقلاب فرهنگی، ۱۴۰۳.

« [113] امنیت و حریم خصوصی در سامانه‌های هوش مصنوعی»، منابع علمی و پژوهشی حوزه امنیت سایبری و هوش مصنوعی، ۱۴۰۲.

« [114] هوش مصنوعی توضیح‌پذیر و چالش‌های تفسیرپذیری مدل‌های یادگیری ماشین»، منابع علمی حوزه یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، ۱۴۰۲.

[115] تقی‌زاده، مسلم؛ خردمندینیا، سهیلا، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۳.

« [116] سند ملی هوش مصنوعی جمهوری اسلامی ایران»، شورای عالی انقلاب فرهنگی، ۱۴۰۳.

[117] تقی‌زاده، مسلم؛ خردمندینیا، سهیلا، «هوش مصنوعی مولد؛ چالش‌ها و الزامات توسعه و پیاده‌سازی»، گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۳.

« [118] سند ملی هوش مصنوعی جمهوری اسلامی ایران»، شورای عالی انقلاب فرهنگی، ۱۴۰۳.

---

## منابع انگلیسی

[1] OECD, *Explanatory Memorandum on the Updated OECD Definition of an AI System*, OECD Artificial Intelligence Papers, No. 8, OECD Publishing, Paris, 2024.

[OECD منبع رسمی](#)

[2] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *The 2025 AI Index Report*, Stanford University, 2025.

[Stanford AI Index 2025 منبع رسمی](#)

[3] Tabassi, E., *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*, NIST AI 100-1, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2023.

[NIST منبع رسمی](#)

[1] OECD, *Explanatory Memorandum on the Updated OECD Definition of an AI System*, OECD Artificial Intelligence Papers, No. 8, OECD Publishing, 2024.

[OECD منبع رسمی](#)

[2] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *The 2025 AI Index Report*, Stanford University, 2025.

[Stanford AI Index 2025 گزارش رسمی](#)

[3] Tabassi, E., *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*, NIST AI 100-1, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2023.

[NIST منبع رسمی](#)

[3] OECD, *OECD Digital Economy Outlook 2024 (Volume 1)*, OECD Publishing, Paris, 2024.

[OECD Digital Economy Outlook 2024 منبع رسمی](#)

[4] IBM Research, *What is Machine Learning?*, IBM, 2024.

[IBM Research – Machine Learning](#)

[5] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G., “Deep Learning”, *Nature*, Vol. 521, pp. 436–444, 2015.

[Nature – Deep Learning](#)

[6] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A., *Deep Learning*, MIT Press, 2016.

[MIT Press – Deep Learning](#)

[7] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I., “Attention Is All You Need”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 30, 2017.

[NeurIPS – Attention Is All You Need](#)

[8] Russell, S., & Norvig, P., *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th ed., Pearson, 2021.

[Pearson – Artificial Intelligence: A Modern Approach](#)

[9] IBM Research, *Natural Language Processing (NLP)*, IBM, 2024.

[IBM Research – Natural Language Processing](#)

[10] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025 – Technical Performance and Foundation Models*, Stanford University, 2025.

[Stanford AI Index 2025](#)

[11] IBM Research, *Computer Vision*, IBM, 2024.

[IBM Research – Computer Vision](#)

[12] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*, NIST AI 600-1, 2024.

[NIST – Generative AI Profile](#)

[13] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*, NIST, 2023.

[NIST – AI Risk Management Framework](#)

[14] OECD, *OECD Digital Economy Outlook 2024 (Volume 1): The AI Technological Landscape Today and Tomorrow*, OECD Publishing, 2024.

[منبع رسمی OECD – Digital Economy Outlook 2024](#)

[15] IBM, *The History of Artificial Intelligence*, IBM Think, 2024.

[منبع IBM – History of Artificial Intelligence](#)

[16] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *The 2025 AI Index Report*, Stanford University, 2025.

[منبع رسمی Stanford AI Index 2025](#)

[23] OECD, *OECD Digital Economy Outlook 2024, Volume 1: The Future of Artificial Intelligence*, OECD Publishing, 2024.

[منبع رسمی OECD](#)

- [24] U.S. Government Accountability Office, *Artificial Intelligence: Generative AI Technologies and Their Commercial Applications*, GAO-24-106946, 2024.  
[GAO منبع رسمی](#)
- [25] United Nations, *Digital Progress and Trends Report 2023*, World Bank/United Nations, 2023.  
[Digital Progress and Trends Report 2023 گزارش](#)
- [26] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*, NIST AI 600-1, 2024.  
[NIST منبع رسمی](#)
- [29] OECD, *OECD Digital Economy Outlook 2024, Volume 1*, OECD Publishing, 2024.  
[OECD – Digital Economy Outlook 2024](#)
- [30] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*, NIST, 2024.  
[NIST – Generative AI Profile](#)
- [31] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.  
[Stanford AI Index 2025](#)
- [34] OECD, *OECD Digital Economy Outlook 2024, Volume 1*, OECD Publishing, 2024.  
[OECD Digital Economy Outlook 2024](#)
- [35] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.  
[Stanford AI Index 2025](#)
- [36] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*, NIST, 2024.  
[NIST – Generative AI Profile](#)
- [40] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.  
[Stanford AI Index Report 2025](#)
- [41] OECD, *OECD Digital Economy Outlook 2024, Volume 1*, OECD Publishing, 2024.  
[OECD Digital Economy Outlook 2024](#)
- [42] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*, NIST, 2024.  
[NIST AI Risk Management Framework](#)
- [46] Scikit-learn Developers, *User Guide: Supervised Learning and Unsupervised Learning*, Scikit-learn, 2024–2025.  
[Scikit-learn User Guide](#)

[47] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.

[Stanford AI Index Report 2025](#)

[48] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework 1.0*, NIST, 2023. این چارچوب بر طراحی، توسعه، استفاده و ارزیابی سامانه‌های هوش مصنوعی و مدیریت ریسک آن‌ها تمرکز دارد.

[NIST AI Risk Management Framework 1.0](#)

[49] Autio, C., Schwartz, R., Dunietz, J., Jain, S., Stanley, M., Tabassi, E., Hall, P., & Roberts, K., *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*, NIST, 2024.

[NIST Generative AI Profile](#)

[46] Scikit-learn Developers, *User Guide: Supervised Learning and Unsupervised Learning*, Scikit-learn, 2024–2025.

[Scikit-learn User Guide](#)

[47] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.

[Stanford AI Index Report 2025](#)

[48] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework 1.0*, NIST, 2023.

[NIST AI Risk Management Framework 1.0](#)

[51] Huang, Y., Xu, J., Lai, J., Jiang, Z., Chen, T., Yao, Y., Ma, X., Yang, L., Chen, H., Li, S., & Zhao, P., “Advancing Transformer Architecture in Long-Context Large Language Models: A Comprehensive Survey”, 2023.

[arXiv مشاهده مقاله در](#)

[52] Wang, C., Zhao, J., & Gong, J., “A Survey on Large Language Models from Concept to Implementation”, 2024.

[arXiv مشاهده مقاله در](#)

[53] Autio, C., Schwartz, R., Dunietz, J., Jain, S., Stanley, M., Tabassi, E., Hall, P., & Roberts, K., *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*, NIST, 2024.

[NIST لینک رسمی](#)

[54] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.

[Stanford AI Index 2025 لینک رسمی](#)

[57] Dong, S., Wang, P., & Abbas, K., “A Survey on Deep Learning and Its Applications”, *Computer Science Review*, Vol. 40, 2021, Article 100379. لینک مقاله.

[58] Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., et al., “Review of Deep Learning: Concepts, CNN Architectures, Challenges, Applications, Future Directions”, *Journal of Big Data*,

Vol. 8, 2021, Article 53.

[لینک مقاله](#)

[59] Islam, S., Elmekki, H., Elsebai, A., et al., “A Comprehensive Survey on Applications of Transformers for Deep Learning Tasks”, *Expert Systems with Applications*, 2023. [لینک مقاله](#)

[60] Islam, S., Elmekki, H., Elsebai, A., et al., “Transformers in the Real World: A Survey on NLP Applications”, *Information*, Vol. 14, 2023, Article 242.

[لینک مقاله](#)

[62] A Survey of GPT-3 Family Large Language Models Including ChatGPT and GPT-4, *Natural Language Processing Journal*, Vol. 6, 2024, Article 100048.

[لینک مقاله](#)

[63] “Generative Artificial Intelligence: A Systematic Review and Applications”, *Multimedia Tools and Applications*, 2024/2025.

[لینک مقاله](#)

[64] “Generative AI: A Systematic Review Using Topic Modelling Techniques”, *Data and Information Management*, Vol. 8, 2024, Article 100066.

[لینک مقاله](#)

[65] Ji, Z., Lee, N., Frieske, R., et al., “Survey of Hallucination in Natural Language Generation”, *ACM Computing Surveys*, Vol. 55, 2023, Article 248.

[لینک مقاله](#)

[69] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*, NIST, 2023.

[NIST AI Risk Management Framework](#)

[70] Snyder, H., “Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines”, *Journal of Business Research*, Vol. 104, pp. 333–339, 2021.

[Journal of Business Research – Literature Review Methodology](#)

[71] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.

[Stanford AI Index 2025](#)

[72] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*, NIST, 2024.

[NIST Generative AI Profile](#)

[69] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*, NIST, 2023.

[لینک رسمی NIST](#)

[70] National Institute of Standards and Technology, *A Proposal for Identifying and Managing Bias in Artificial Intelligence*, NIST, 2022.

- [71] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.  
[لینک رسمی Stanford AI Index](#)
- [72] James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., & Taylor, J., *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in Python*, Springer, 2023.  
[لینک رسمی کتاب](#)
- [73] Breiman, L., “Classification and Regression Trees and Related Methods”, مباحث و منابع آموزشی مرتبط با درخت تصمیم، نسخه‌های به‌روز در منابع آماری و یادگیری ماشین.
- [74] Breiman, L., “Random Forests”, *Machine Learning*, Vol. 45, pp. 5–32. برای مبانی الگوریتم جنگل تصادفی.
- [75] Chang, C.-C., & Lin, C.-J., “LIBSVM: A Library for Support Vector Machines”, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2021 ، نسخه به‌روز شده منابع و SVM پیاده‌سازی  
[بایگه رسمی – LIBSVM](#)
- [76] Ahmed, M., Seraj, R., & Islam, S. M. S., “The K-Means Algorithm: A Comprehensive Survey and Performance Evaluation”, *Electronics*, Vol. 9, 2020. برای استفاده در متن اصلی، با توجه به شرط زمانی پایان‌نامه، منابع جدیدتر از ۲۰۲۱ نیز در کنار این منبع استفاده شوند.
- [77] Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., et al., “Review of Deep Learning: Concepts, CNN Architectures, Challenges, Applications, Future Directions”, *Journal of Big Data*, Vol. 8, 2021, Article 53.  
[لینک مقاله](#)
- [78] Dong, S., Wang, P., & Abbas, K., “A Survey on Deep Learning and Its Applications”, *Computer Science Review*, Vol. 40, 2021, Article 100379. [لینک مقاله](#).
- [79] Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., et al., “Review of Deep Learning: Concepts, CNN Architectures, Challenges, Applications, Future Directions”, *Journal of Big Data*, Vol. 8, 2021, Article 53.  
[مقاله در Journal of Big Data](#)
- [80] Sherstov, A. A., et al., “Recurrent Neural Networks and Their Applications”, منابع علمی جدید حوزه شبکه‌های عصبی بازگشتی، 2021 به بعد.
- [81] Yu, Y., Si, X., Hu, C., & Zhang, J., “A Review of Recurrent Neural Networks: LSTM Cells and Network Architectures”, *Neural Computation*, 2021.
- [82] Vaswani, A., et al., “Attention Is All You Need”, Transformer منبع پایه معماری. برای مورد استفاده قرار گرفته است Transformer مبانی معماری.
- [83] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.  
[Stanford AI Index 2025](#)

- [84] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*, NIST, 2023.  
[NIST AI Risk Management Framework](#)
- [85] National Institute of Standards and Technology, *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*, NIST, 2023.  
[NIST منبع رسمی](#)
- [86] Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, *AI Index Report 2025*, Stanford University, 2025.  
[Stanford AI Index 2025](#)
- [87] Patterson, D., et al., “The Carbon Emissions of Machine Learning Training Will Plateau, Then Shrink”, *Computer*, 2022.
- [88] Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., et al., “Review of Deep Learning: Concepts, CNN Architectures, Challenges, Applications, Future Directions”, *Journal of Big Data*, Vol. 8, 2021, Article 53.  
[لینک مقاله](#)
- [89] National Institute of Standards and Technology, *Four Principles of Explainable Artificial Intelligence*, NIST, 2021.
- [90] Gao, C., Hu, X., Gao, S., Xia, X., & Jin, Z., “The Current Challenges of Software Engineering in the Era of Large Language Models”, 2024.
- [91] Anand, A., Gupta, A., Yadav, N., & Bajaj, S., “A Comprehensive Survey of AI-Driven Advancements and Techniques in Automated Program Repair and Code Generation”, 2024.
- [92] Tambon, F., Moradi Dakhel, A., Nikanjam, A., Khomh, F., Desmarais, M. C., & Antoniol, G., “Bugs in Large Language Models Generated Code: An Empirical Study”, 2024.
- [93] Maasaoui, Z., Battou, A., Merzouki, M., & Lbath, A., “Anomaly Based Intrusion Detection using Large Language Models”, AICCSA, 2024.
- [94] Vassilev, A., Oprea, A., Fordyce, A., & Andersen, H., “Adversarial Machine Learning: A Taxonomy and Terminology of Attacks and Mitigations”, NIST AI 100-2 E2023, 2024.
- [95] “A Review of Machine Learning-based Zero-day Attack Detection: Challenges and Future Directions”, *Computer Communications*, 2023.
- [96] Rahman, F., Halim, S. M., Singhal, A., & Khan, L., “ALERT: A Framework for Efficient Extraction of Attack Techniques from Cyber Threat Intelligence Reports Using Active Learning”, *DBSec*, 2024, pp. 203–220.

