

# معمای هوش الکترونیک



جستاری در تاریخچه، مبانی و شاخه‌های علم هوش مصنوعی

## مقدمه :

بیش از نیم قرن پیش، هنگامی که هنوز هیچ تراشه سیلیکونی‌ای ساخته نشده بود، آلن تورینگ، یکی از بحث‌انگیزترین پرسش‌های فلسفی تاریخ را پرسید. او گفت <آیا ماشین می‌تواند فکر کند؟> و اندکی بعد کوشید به پیروی از این قاعده که <هر ادعای علمی باید از بوته آزمایش سربلند بیرون بیاید>، پرسش فلسفی خود را با یک آزمایش ساده و در عین حال پیچیده جایگزین کند. او پرسید: آیا یک ماشین - یک کامپیوتر - می‌تواند آزمون <بازی تقلید> را با موفقیت پشت سر بگذارد؟ آیا ماشین می‌تواند از انسان چنان تقلید کند که در یک آزمون محاوره‌ای نتوانیم تفاوت انسان و ماشین را تشخیص دهیم؟ او در سال 1950 بر اساس محاسباتی تخمین زد که پنجاه سال بعد، کامپیوتری با یک میلیارد بیت حافظه خواهد توانست به موفقیت‌هایی در این زمینه دست پیدا کند. اکنون که در آستانه سال 2007 میلادی هستیم، حتی هفت سال بیشتر از زمانی که او لازم دانسته بود، هنوز هیچ ماشینی نتوانسته‌است از بوته آزمون تورینگ با موفقیت خارج شود. اما همین پرسش کافی بود تا بشر در نیم قرن اخیر به دستاوردهای شگرفی در زمینه هوش مصنوعی برسد. دست کم یکی از پیش‌بینی‌های تورینگ درست از آب درآمد: در سال 2000 مفهوم <هوش مصنوعی> برای هیچ‌کس غیرقابل‌باور نبود. در این مقاله نگاهی داریم به سیر تحولاتی که پس از این پرسش تاریخی در دنیای علم و مهندسی به وقوع پیوستند.

## آیا کامپیوتر می‌تواند فکر کند؟

یکی از جالب‌ترین و هیجان‌انگیزترین پرسش‌هایی که تاکنون تاریخ فلسفه به خود دیده، پرسشی است که آلن تورینگ، فیلسوف و ریاضیدان انگلیسی در سال 1950 طی مقاله‌ای به نام *Computing Machinery Intelligence and* یا «ماشین محاسباتی و هوشمندی» مطرح کرد. او پرسید: «آیا ماشین می‌تواند فکر کند؟» و برای این که ذهن مخاطب را از پریشانی درباره ماهیت این ماشین برهانند، توضیح داد که منظور او از ماشین، یک کامپیوتر است؛ ماشینی که قادر به انجام محاسبات نرم‌افزاری است. به این ترتیب برای اولین بار این پرسش در ذهن نوع بشر پدید آمد که: «آیا کامپیوتر می‌تواند فکر کند؟»

خود تورینگ نتوانست پاسخ قطعی این پرسش را پیدا کند، اما برای یافتن پاسخ مناسب در آینده، یک راهبرد خلاقانه پیشنهاد کرد. او آزمونی طراحی کرد که خود آن را «بازی تقلید» نامید. تورینگ پرسید: «آیا یک ماشین، یعنی یک کامپیوتر، می‌تواند آزمون تقلید را با موفقیت پشت سر بگذارد؟» آیا یک کامپیوتر می‌تواند با یک انسان چنان گفت‌وگو کند که او فریب بخورد و تصور کند در حال گفت‌وگو با یک انسان است؟

او آزمون بازی تقلید را چنین شرح داد: یک پرسشگر - یک انسان - همزمان در حال گفت‌وگو با دو نفر است. هر یک از این دو نفر در اتاق‌های جداگانه‌ای قرار گرفته‌اند و پرسشگر نمی‌تواند هیچ‌یک از آن‌ها را ببیند. یکی از این دو نفر یک انسان است و دیگری یک ماشین؛ یعنی یک کامپیوتر. پرسشگر باید با این دو نفر شروع به گفت‌وگو کند و بکوشد بفهمد کدام یک از این دو انسان است و کدام یک ماشین. اگر کامپیوتر بتواند طوری جواب دهد که پرسشگر نتواند انسان را از ماشین تمیز دهد، آنگاه می‌توان ادعا کرد که این ماشین هوشمند است.

تورینگ برای آسان‌تر کردن شرایط این آزمون و پرهیز از پیچیدگی‌های اضافی، آن را به محاوره‌ای متنی و روی کاغذ محدود کرد تا مجبور به درگیر شدن با مسائل انحرافی مانند تبدیل متن به گفتار شفاهی و تنظیم تُن صدا

و لهجه نباشیم. او همچنین براساس یک سری محاسبات، پیش‌بینی کرد که پنجاه سال بعد، یعنی در سال 2000 انسان قادر خواهد بود کامپیوترهایی بسازد که در یک گفت‌وگوی پنج دقیقه‌ای، فقط هفتاد درصد پرسشگرها بتوانند کشف کنند که در حال گفت‌وگو با یک انسان هستند یا یک ماشین. او برخورداری از یک میلیارد بیت حافظه (125 میلیون بیت - حدود 120 مگابایت) را یکی از مشخصه‌های اصلی این کامپیوتر دانست.

تورینگ همچنین در این مقاله یک سری استدلال‌های مخالف با نظریه و آزمون خود را مطرح کرد و کوشید به آن‌ها پاسخ دهد. نخست، تصور این‌که ماشین‌های هوشمندی ساخته شوند که بتوانند فکر کنند، وحشتناک است. تورینگ در پاسخ می‌گوید: این نکته‌ای انحرافی است؛ زیرا بحث اصلی او بایدها و نبایدها نیست، بلکه بحث درباره ممکن‌ها است. دیگر این‌که، ادعا می‌شود محدودیت‌هایی درباره نوع پرسش‌هایی که می‌توان از کامپیوتر پرسید وجود دارد؛ زیرا کامپیوتر از منطق خاصی پیروی می‌کند. اما تورینگ در پاسخ می‌گوید: خود انسان هنگام گفت‌وگو پرغلط ظاهر می‌شود و نمی‌توان گفتار هر انسانی را لزوماً منطقی کرد. او پیش‌بینی کرد که منشا اصلی هوشمندی ماشین فرضی او، حافظه بسیار زیاد و سریعی است که یک کامپیوتر می‌تواند داشته باشد.

بنابراین، از نگاه تورینگ، ماشینی همچون کامپیوتر Deep Blue که کاسپاروف، قهرمان شطرنج را شکست داد، می‌توان یک ماشین هوشمند تلقی کرد.

در عین حال تورینگ این نظر را که <آزمون مورد بحث معتبر نیست؛ زیرا انسان دارای احساسات است و مثلاً موسیقی دراماتیک می‌سازد> رد کرد و گفت: هنوز هیچ سند قابل قبولی وجود ندارد که ثابت کند فقط ما انسان‌ها دارای احساسات هستیم؛ زیرا مشخص نیست مفهوم دقیق این واژه به لحاظ علمی چیست.

در سال 1956 جان مک‌کارتی، یکی از نظریه‌پردازان پیشگام این نظریه در آن زمان، اصطلاح <هوش مصنوعی> را برای اولین بار در نخستین کنفرانسی که به این موضوع اختصاص یافته بود، به کار برد. او همچنین زبان برنامه‌نویسی Lisp را ابداع کرد که در همین زمینه کاربرد دارد. دانشمندان بعداً این تاریخ را به

عنوان تاریخ تولد علم هوش مصنوعی انتخاب کردند. تقریباً در همان زمان جان فون نیومان <نظریه بازی‌ها> را معرفی کرد. این نظریه بدیع و درخشان که بعداً در اکثر حوزه‌های علم، از جمله جامعه‌شناسی، اقتصاد و سیاست کاربردهایی پیدا کرد، نقش مؤثری در پیشبرد جنبه‌های نظری و عملی هوش مصنوعی داشت.

چند سال بعد، در 1968، آرتور سی کلارک، در رمان معروف خود، یعنی اودیسه فضایی 2001 اصطلاح <آزمون تورینگ> را به جای <بازی تقلید> سرزبان‌ها انداخت. از زمانی که تورینگ این فرضیه را مطرح کرده است، هزاران دانشمند با هدف ساختن ماشینی که بتواند آزمون تورینگ را با موفقیت تمام کند، دست به کار شده‌اند. اما هنوز هیچ‌کس موفق نشده است چنین ماشینی بسازد و پیش‌بینی تورینگ هم درست از آب درنیامده است.

## چالش‌های بنیادین هوش مصنوعی

البته امروزه هوش مصنوعی به واقعیت نزدیک شده است و تقریباً می‌توان گفت وجود دارد، اما دلایل اساسی متعددی وجود دارند که نشان می‌دهند چرا هنوز شکل تکامل یافته هوشی که تورینگ تصور می‌کرد، به وقوع نپیوسته است. به طور کلی خود نظریه تورینگ مخالفانی جدی دارد. بعضی از این منتقدان اصلاً هوش ماشینی را قبول ندارند و برخی دیگر صرفاً کارآمدی آزمون تورینگ را برای اثبات هوشمندی زیر سؤال می‌برند. یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح در این زمینه، موضوع شبیه‌سازی است. غالباً پرسیده می‌شود آیا صرف این‌که ماشینی بتواند نحوه صحبت کردن انسان را شبیه‌سازی کند، به معنی آن است که هوشمند است؟ به عنوان مثال، شاید شما هم درباره ربات‌های نرم‌افزاری که می‌توانند چت کنند (Bots Chatter) چیزهایی شنیده باشید. (1) این ربات‌ها از روش‌های تقلیدی استفاده می‌کنند و به تعبیری، نمونه مدرن و اینترنتی آزمون تورینگ هستند.

مثلاً روبات ELIZA یکی از این‌هاست. این روبات را ژوزف وایزن بام، یکی دیگر از پژوهشگران نامدار این حوزه اختراع کرد. الیزا در برخی مکالمات ساده می‌تواند طرف مقابل خود را به اشتباه بیندازد. طوری که مخاطب ممکن است فکر کند در حال گپ زدن با یک انسان است. البته الیزا هنوز نتوانسته است آزمون تورینگ را با موفقیت پشت سر بگذارد. با این حال تکنیک‌های شبیه‌سازی مورد انتقاد گروهی از دانشمندان است. یکی از مشهورترین انتقادات در این زمینه را فیلسوفی به نام جان سیرل (John Searle) مطرح کرده است. او معتقد است بحث هوشمندی ماشین‌های غیربیولوژیک اساساً بی‌ربط است و برای اثبات ادعای خود مثالی می‌آورد که در مباحث تئوریک هوش مصنوعی <بحث اتاق چینی> نامیده می‌شود. سیرل ابتدا نقد خود درباره هوش ماشینی را در 1980 مطرح کرد و سپس آن در مقاله کامل‌تری که در 1990 منتشر کرد، بسط داد.

ماجرای اتاق چینی به این صورت است: فرض کنید داخل اتاقی یک نفر نشسته است و کتابی از قواعد سمبول‌های زبان چینی در اختیار دارد. برای این فرد عبارات - سمبول‌های - چینی روی کاغذ نوشته می‌شود و از زیر درِ اتاق به داخل فرستاده می‌شود. او باید با مراجعه به کتاب قواعد پاسخ مناسب را تهیه کند و روی کاغذ پس بفرستد. اگر فرض کنیم کتاب مرجع مورد نظر به اندازه کافی کامل است، این فرد می‌تواند بدون این‌که حتی معنی یک نماد از سمبول‌های زبان چینی را بفهمد، به پرسش‌ها پاسخ دهد. آیا می‌توان به این ترتیب نتیجه گرفت که پاسخ دهنده هوشمند است؟

استدلال اصلی این منتقد و دیگر منتقدان موضوع شبیه‌سازی این است که می‌توان ماشینی ساخت (مثلاً یک نرم‌افزار لغتنامه) که عبارات و اصطلاحات را ترجمه کند. یعنی ماشینی که کلمات و سمبول‌های ورودی را دریافت و سمبول‌ها و کلمات خروجی را تولید کند؛ بدون این‌که خود ماشین معنی و مفهوم این سمبول‌ها را درک کند. بنابراین آزمون تورینگ حتی در صورت موفقیت نیز نمی‌تواند ثابت کند که یک ماشین هوشمند است.

در مقابل این انتقاد دو نظر وجود دارد: یک دسته از دانشمندان که بیشتر به نظریه تورینگ معتقدند، می‌گویند اساساً چه دلیلی وجود دارد که باور نکنیم (دست‌کم) بخش بزرگی از آنچه را که هوشمندی انسان تلقی می‌کنیم، معلومات تقلیدی تشکیل داده باشد؟ در واقع تمام سندی که ما درباره متفکر بودن انسان داریم رفتاری است که اندیشه او پدید می‌آورد، ولی درباره ماهیت و ساختار این اندیشه چیز زیادی نمی‌دانیم. دسته دوم، کسانی هستند که معتقدند اگر ماشین‌ها بتوانند با دنیای پیرامون خود کنش و واکنش داشته باشند، آنگاه می‌توانند فکر کنند. منظور این است که کامپیوترها نیز مانند ما دارای حس بینایی، شنوایی، لامسه و حس‌های دیگر باشند. در این صورت، ترکیب همزمان <پاسخ‌های تقلیدی> با <واکنش مناسب به محیط> یعنی همان <هوشمندی>. اتفاقاً کسی مانند جان سیرل نیز تفکرات مشابهی دارد؛ با این تفاوت که به طور خاص او شکل ایده‌آل کنش و واکنش مورد نیاز را همان تعامل بیولوژیکی می‌داند.

انتقادات دیگری نیز به آزمون تورینگ وارد می‌شود. از جمله این که ممکن است یک ماشین هوشمند باشد، ولی نتواند همچون انسان ارتباط برقرار کند. دیگر این که، در آزمون تورینگ فرض می‌شود که انسان مورد آزمایش - یکی از دو نفری که داخل اتاق در بسته به سؤالات پاسخ می‌دهد - به اندازه کافی هوشمند است. در حالی که با استناد به استدلال خود تورینگ می‌توان نتیجه گرفت که خیلی از افراد مانند بچه‌ها و افراد بیسواد در این آزمون مردود می‌شوند؛ نه به دلیل هوشمندی ماشین، بلکه به دلیل نداشتن مهارت کافی در ارتباط‌گیری از طریق مکاتبه.

مسئله دیگری که در بحث هوش مصنوعی اهمیت دارد، موضوع <قالب و محتوا> است. منظور از قالب یا Context در اینجا، ظرفی است که محتوا داخل آن قرار می‌گیرد.

یکی از پایه‌های هوشمندی انسان توجهی است که او به قالب محتوا - و نه صرفاً خود محتوا - دارد. به عنوان مثال، وقتی می‌گوییم <شیر>، این کلمه به تنهایی معانی متفاوتی دارد، ولی هنگامی که همین واژه داخل یک

جمله قرار می‌گیرد، فقط یک معنی صحیح دارد. انسان می‌تواند معانی کلمات را نه فقط به صورت مجرد، بلکه با دنبال کردن نحوه وابستگی‌شان به جمله تشخیص دهد. مشابه همین هوشمندی، در تمام حس‌های پنجگانه انسان وجود دارد. به عنوان مثال، از نظر علمی ثابت شده است که گوش انسان می‌تواند هنگام توجه به صحبت‌های یک انسان دیگر در محیطی شلوغ، کلمات و عباراتی را که نمی‌شنود، خودش تکمیل کند یا چشم انسان می‌تواند هنگام مشاهده یک تصویر، قسمت‌های ناواضح آن را با استفاده از دانسته‌های بصری قبلی خود تکمیل کند.

از این رو کارشناسان معتقدند، دانش پیش‌زمینه یا <آرشیو ذهنی> یک موجود هوشمند نقش مؤثری در هوشمندی او بازی می‌کند. در حقیقت منشأ پیدایش برخی از شاخه‌های مدرن و جدید دانش هوش مصنوعی همچون <سیستم‌های خبره> و <شبکه‌های عصبی> همین موضوع است و اساساً با این هدف پدید آمده‌اند که بتوانند به ماشین قدرت آموختن و فراگیری بدهند؛ هرچند که هر یک از این شاخه‌ها، از پارادایم متفاوتی برای آموزش به ماشین استفاده می‌کنند و همین تفاوت‌ها مبنا و اساس دو جریان فکری عمده در محافل علمی مرتبط با هوش مصنوعی را پدید آورده‌اند.

## شاخه‌های علم هوش مصنوعی

امروزه دانش مدرن هوش مصنوعی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود: یکی <هوش مصنوعی سمبولیک یا نمادین> (Symbolic AI) و دیگری هوش غیرسمبولیک که پیوندگرا (Connection AI) نیز نامیده می‌شود.

هوش مصنوعی سمبولیک از رهیافتی مبتنی بر محاسبات آماری پیروی می‌کند و اغلب تحت عنوان <یادگیری ماشین> یا (Machine Learning) طبقه‌بندی می‌شود. هوش سمبولیک می‌کوشد سیستم و قواعد آن را در

قالب سمبول‌ها بیان کند و با نگاشت اطلاعات به سمبول‌ها و قوانین به حل مسئله پردازد. در میان معروف‌ترین شاخه‌های هوش مصنوعی سمبولیک می‌توان به سیستم‌های خبره (Expert Systems) و شبکه‌های Bayesian اشاره کرد.

یک سیستم خبره می‌تواند حجم عظیمی از داده‌ها را پردازش نماید و بر اساس تکنیک‌های آماری، نتایج دقیقی را تهیه کند. شبکه‌های Bayesian یک تکنیک محاسباتی برای ایجاد ساختارهای اطلاعاتی و تهیه استنتاج‌های منطقی از روی اطلاعاتی است که به کمک روش‌های آمار و احتمال به دست آمده‌اند. بنابراین در هوش سمبولیک، منظور از <یادگیری ماشین> استفاده از الگوریتم‌های تشخیص الگوها، تحلیل و طبقه‌بندی اطلاعات است.

اما هوش پیوندگرا متکی بر یک منطق استقرایی است و از رهیافت <آموزش/ بهبود سیستم از طریق تکرار> بهره می‌گیرد. این آموزش‌ها نه بر اساس نتایج و تحلیل‌های دقیق آماری، بلکه مبتنی بر شیوه آزمون و خطا و <یادگیری از راه تجربه> است. در هوش مصنوعی پیوندگرا، قواعد از ابتدا در اختیار سیستم قرار نمی‌گیرد، بلکه سیستم از طریق تجربه، خودش قوانین را استخراج می‌کند. متدهای ایجاد شبکه‌های عصبی (Neural Networks) و نیز به‌کارگیری منطق فازی (Fuzzy Logic) در این دسته قرار می‌گیرند.

برای درک بهتر تفاوت میان این دو شیوه به یک مثال توجه کنید. فرض کنید می‌خواهیم یک سیستم OCR بسازیم. سیستم OCR نرم‌افزاری است که پس از اسکن کردن یک تکه نوشته روی کاغذ می‌تواند متن روی آن را استخراج کند و به کاراکترهای متنی تبدیل نماید.

بدیهی است که چنین نرم‌افزاری به نوعی هوشمندی نیاز دارد. این هوشمندی را با دو رهیافت متفاوت می‌توان فراهم کرد. اگر از روش سمبولیک استفاده کنیم، قاعدتاً باید الگوی هندسی تمام حروف و اعداد را در

حالت‌های مختلف در بانک اطلاعاتی سیستم تعریف کنیم و سپس متن اسکن شده را با این الگوها مقایسه کنیم تا بتوانیم متن را استخراج نماییم. در اینجا الگوهای حرفی-عددی یا همان سمبول‌ها پایه و اساس هوشمندی سیستم را تشکیل می‌دهند. روش دوم یا متد <پیوندگرا> این است که یک سیستم هوشمند غیرسمبولیک درست کنیم و متن‌های متعددی را یک به یک به آن بدهیم تا آرام آرام آموزش ببیند و سیستم را بهینه کند. در اینجا سیستم هوشمند می‌تواند مثلاً یک شبکه عصبی یا مدل مخفی مارکوف باشد. در این شیوه سمبول‌ها پایه هوشمندی نیستند، بلکه فعالیت‌های سلسله اعصاب یک شبکه و چگونگی پیوند میان آن‌ها مبنای هوشمندی را تشکیل می‌دهند.

در طول دهه‌های 1960 و 1970 به دنبال ابداع اولین برنامه نرم‌افزاری موفق در گروه سیستم‌های مبتنی بر دانش (Knowledge-based) توسط جوئل موزس، سیستم‌های هوش سمبولیک به یک جریان مهم تبدیل شد.

ایده و مدل شبکه‌های عصبی ابتدا در دهه 1940 توسط Warren McCulloch و Walter Pitts معرفی شد. سپس در دهه 1950 کارهای روزن‌بالت (Rosenblatt) در مورد شبکه‌های دولایه مورد توجه قرار گرفت. در 1974 الگوریتم back propagation توسط Werbos Paul معرفی شد، ولی متدولوژی شبکه‌های عصبی عمدتاً از دهه 1980 به این سو رشد زیادی پیدا کرد و مورد استقبال دانشمندان قرار گرفت. منطق فازی ابتدا توسط پروفسور لطفی زاده، در 1965 معرفی شد و از آن زمان به بعد توسط خود او و دیگر دانشمندان دنبال شد.

در دهه 1980 تلاش‌های دانشمندان ژاپنی برای کاربردی کردن منطق فازی به ترویج و معرفی منطق فازی کمک زیادی کرد. مثلاً طراحی و شبیه‌سازی سیستم کنترل فازی برای راه‌آهن Sendai توسط دو دانشمند به نام‌های Yasunobu و Miyamoto در 1985، نمایش کاربرد سیستم‌های کنترل فازی از طریق چند تراشه مبتنی بر منطق فازی در آزمون <پاندول معکوس> توسط Takeshi Yamakawa در همایش بین‌المللی پژوهشگران منطق فازی در توکیو در 1987 و نیز استفاده از سیستم‌های فازی در شبکه مونو ریل توکیو و نیز معرفی سیستم ترمز ABS مبتنی بر کنترلرهای فازی توسط اتومبیل‌سازی هوندا در همین دهه تاثیر زیادی در توجه مجدد دانشمندان جهان به این حوزه از علم داشت.

## فراتر از هوشمندی ماشین

چنان که گفتیم، هوش مصنوعی دانش و مهندسی ساختن ماشین‌های هوشمند، به ویژه کامپیوترهای هوشمند است. اما برآستی هوشمندی چیست؟ در واقع هنوز دانشمندان نتوانسته‌اند تعریف واحدی از هوشمندی ارائه دهند که مستقل از <هوش انسانی> باشد. ما می‌دانیم که برخی از ماشین‌ها یا جانداران می‌توانند هوشمند باشند، اما بشر هنوز نمی‌داند که مایل است کدام دسته از فرآیندهای محاسباتی یا پردازشی را هوشمندی بنامد. بنابراین برای پاسخ دادن به این پرسش که <آیا فلان ماشین هوشمند است؟> هنوز فرمول مشخصی وجود ندارد. در واقع هوشمندی، خود یک مفهوم فازی و نادقیق است. هوشمندی را می‌توان یک فرآیند تلقی کرد که دانشمندان هنوز در حال شبیه‌سازی، تحلیل و حتی تعریف مشخصه‌های آن هستند.

موضوع مهم دیگری که در ارتباط با هوش مصنوعی مطرح است، هدف دانشمندان از به‌کارگیری آن است. روشن است که هدف اولیه بشر از ورود به این موضوع، شبیه‌سازی هوش انسان در کالبد ماشین بوده است. ولی امروزه دیگر چنین نیست و این تصور که هدف علم هوش مصنوعی تنها شبیه‌سازی هوش انسانی است، تصویری نادرست است. در حقیقت موضوع شبیه‌سازی هوش انسانی عاملی پیش‌برنده در این حوزه از علم است که به دانشمندان انگیزه می‌دهد تا آن را توسعه دهند، اما در خلال روند توسعه، بشر می‌تواند به دستاوردهایی برسد که در تمام زمینه‌ها کاربرد دارد. سیستم‌های خبره و مبتنی بر دانش نمونه‌ای از این دستاوردهاست. بسیاری از نرم‌افزارهای موسوم به سیستم‌های تصمیم‌سازی ( Decision Making Systems) در شاخه اقتصاد و یا سیستم‌هایی که در تجزیه و تحلیل داده‌های علم پزشکی به کار می‌روند از این دستاورد بهره می‌گیرند. هوش مصنوعی همچنین بستری برای توسعه علمی که مانند تئوری بازی‌ها یا منطق فازی خود شاخه مستقلی هستند پدید می‌آورد تا در سایه همان عوامل انگیزشی، بتوانند رشد و توسعه پیدا کنند.

در عین حال برخی از دستاوردهای این علم فراتر از بحث هوشمندی است. به عنوان مثال، افزایش قدرت

محاسباتی و پردازشی کامپیوتر همواره به پیشرفت این علم کمک کرده است. بنابراین میزان موفقیت هوش مصنوعی در آینده نه فقط به خبرگی الگوریتم‌ها و متدولوژی‌ها، بلکه به سرعت پردازش‌ها و محاسبات کامپیوتری نیز بستگی دارد. این دو لازم و ملزوم یکدیگرند و به رشد هم کمک می‌کنند. شاید پیروزی کامپیوتر Deep Blue بر کاسپاروف، قهرمان شطرنج، تأثیر محسوسی بر زندگی روزانه ما نگذاشته باشد. اما همین مسابقه و تلاش‌های دیگری از این دست، به صنعت کامپیوتر امکان می‌دهند، توانایی خود را برای تولید سیستم‌های کارآمدتر و سودمندتری که در زندگی روزانه بشر کاربرد دارند، افزایش دهد.