

معرفی تفکر محاسباتی انسان محور و تبیین آن از دیدگاه نظریه رسته‌ها

آرتا امیر جمشیدی^{۱*} و نقی اسدی لمعه‌دشت^۱

۱. آزمایشگاه تحقیقاتی علوم داده و مدل‌سازی دانشکده ریاضی،

آمار و علوم کامپیوتر، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران.

arta.jamshidi@ut.ac.ir

نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

با ورود هوش مصنوعی، ابزارهای دیجیتال و سیستم‌های هوشمند محاسباتی در زندگی بشر، نحوه تعاملات انسان با محیط پیرامون خود دچار تغییرات بنیادی شده است. در سال‌های اخیر به دلیل نقش مهم سیستم‌های محاسباتی در تمامی بخش‌های زندگی، نوعی از تفکر به نام تفکر محاسباتی^۱ مورد توجه قرار گرفته است. تفکر محاسباتی شامل فرآیندهای فکری درگیر در فرمول‌بندی مسائل و راه‌حل‌های آن‌ها است؛ به گونه‌ای که راه‌حل‌ها به شکلی نمایش داده می‌شوند که می‌تواند به طور مؤثر توسط یک عامل پردازش کننده اطلاعات اجرا شود. بزرگ‌ترین مزیت این نوع تفکر، توانایی آن در حل مسائل دنیای واقعی است. در این مقاله، نخست به تفکر محاسباتی و سیر تاریخی مؤلفه‌های اصلی و ضرورت آن‌ها پرداخته شده است. در ادامه مؤلفه‌های اتوماسیون و تعمیم را به مؤلفه‌های مشترک تفکر محاسباتی (انتزاع، تجزیه، الگوریتم و اشکال زدایی) اضافه کرده، با در نظر گرفتن ویژگی‌های هوشمندی و محاسبه‌گری انسان، به معرفی تفکر محاسباتی انسان محور می‌پردازیم. با تبیین رسته تفکر محاسباتی از دیدگاه تئوری رسته‌ها^۲ به بررسی ارتباط آن با سایر رسته‌ها از جمله مسائل دنیای واقعی در فیزیک، شیمی و زیست شناسی می‌پردازیم. روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی (خارج) را به کمک تفکر منطقی^۳ و رسته تفکر محاسباتی انسان محور بررسی می‌کنیم. با بررسی روابط متقابل انسان و مسائل دنیای واقعی به نحوه ایجاد و رشد تکنولوژی اشاره کرده، نقش تفکر محاسباتی انسان محور را در نحوه شکل‌گیری و جهت‌دهی این روابط تبیین می‌کنیم. در ادامه رابطه متقابل و کنشگری تفکر محاسباتی انسان محور، هوش مصنوعی و آموزش مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان نتیجه می‌گیریم که تفکر محاسباتی انسان محور به عنوان یک مهارت ضروری، تأثیر قابل توجهی بر تحولات فردی و اجتماعی در جوامع دارد؛ لذا نیازمند تدابیر آموزشی و توجه خاص است.

کلید واژگان: هوش مصنوعی، تفکر محاسباتی، تفکر منطقی، نظریه رسته‌ها، تفکر محاسباتی انسان محور، سیستم‌های هوشمند، آموزش.

۱. مقدمه

از جمله شواهد مبنی بر کارکردهای تفکر محاسباتی در زمینه‌های مختلف می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

• تفکر محاسباتی در شیمی و زیست‌شناسی: با الگوریتم توالی شاتگان^۴ (روشی که برای توالی‌یابی رشته‌های بلند DNA به کار می‌رود)، توانایی بشر در توالی‌یابی ژنوم انسان تسریع یافته است [۳۸،۴۷]. به عنوان جدیدترین کاربرد تفکر محاسباتی در زمینه بیوشیمی، می‌توان به اعطای جایزه نوبل شیمی در سال ۲۰۲۴ به تحقیقات صورت گرفته توسط بیکر^۵، حسابیس^۶ و جامپر^۷ در زمینه طراحی محاسباتی پروتئین و پیش‌بینی ساختار پروتئین اشاره کرد [۳۳].

در عصر حاضر، سبک زندگی افراد به واسطه ورود سیستم‌های هوشمند و صنعتی شدن جوامع دچار تغییرات فراوان شده است. بشر امروزی با مسائل و مشکلات متفاوتی نسبت به گذشته روبرو است. به عنوان مثال در زمینه‌های اقتصادی، نظامی، پزشکی و آموزشی، مسائل پیش روی بشر امروزی با گذشته تغییر فراوانی کرده است [۲۰،۵۳].

امروزه محاسبات و تفکر محاسباتی به طور گسترده در بین محققان و دانشمندان مورد توجه و استفاده قرار گرفته است [۴]. به طوری که رایانه‌ها و سیستم‌های هوشمند در همه زمینه‌ها، از مهندسی گرفته تا پزشکی و آموزش، مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۳۵،۵۳].

1. Computational thinking
2. Category theory
3. Logical thinking
4. Shotgun sequencing

5. Baker
6. Hassabis
7. Jumper

• تفکر محاسباتی در اقتصاد: تفکر محاسباتی اقتصاد را متحول می‌کند و زمینه جدیدی از اقتصاد خرد محاسباتی را با کاربردهایی مانند نحوه قرار دادن تبلیغات هوشمند، مزایده‌های برخط و خدمات اعتباری ایجاد کرده است. در ضمن نقش این تفکر در عملکرد بانک‌ها، بیمه‌ها و بازارهای معاملاتی (بورس و رمز ارزها) و تصمیم‌گیری‌های کلان در زمینه‌های مرتبط با اقتصاد انرژی و منابع طبیعی به وضوح دیده می‌شود.

• تفکر محاسباتی در آمار: تفکر محاسباتی در حال دگرگونی مطالعات آماری است. به طوری که با استفاده از یادگیری ماشین و بهره‌گیری از مدل‌های گرافیکی احتمالی، شناسایی الگوها و ناهنجاری‌ها در مجموعه داده‌های حجیم به کار رفته در زمینه‌های گوناگون مانند شبکه‌های مخابراتی و مطالعات نجومی امکان‌پذیر شده است [۳۱].

کارکرد و نقش تفکر محاسباتی را به فراخور، می‌توان در رشته‌های مهندسی، علوم انسانی، هنر و سایر علوم نیز مشاهده و تبیین کرد [۵۳]. لذا حرکت در مسیر یادگیری بیشتر در حوزه‌های تکنولوژی با هر میزان امکانات و توانایی ضروری است. در این میان دستیابی به روش‌های تعامل مناسب میان انسان و سیستم‌های هوشمند، ضرورتی غیرقابل انکار است [۸، ۵۲].

در این مقاله به ارائه نوآوری‌های کلیدی در زمینه تفکر محاسباتی می‌پردازیم. این نوآوری‌ها نه تنها به بهبود فرآیندهای موجود کمک می‌کنند، بلکه می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر شناخت و توسعه مهارت‌های مرتبط با تفکر محاسباتی داشته باشند. یکی از نوآوری‌های اصلی این مقاله معرفی رسته تفکر محاسباتی است. مسائل دنیای پیرامون ما اغلب از نوع مسائل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هستند و ابزار ما برای حل آن‌ها محاسبه است. هر مسأله در زمینه‌های ذکر شده یک مسأله تابع‌گون^۱ می‌باشد. این موضوع به این معنی است که باید رابطه‌ای میان محاسبات و هر یک از مسائل ایجاد شده توسط تابع‌گون‌ها برقرار شود. در این مقاله ما با شناسایی اجزای تفکر محاسباتی و ارتباطات آن‌ها، رسته^۲ تفکر محاسباتی را معرفی می‌کنیم. نشان می‌دهیم با کمک دیدگاه رسته‌ای می‌توانیم به مدل‌سازی دقیق‌تر فرآیندها و درک بهتر روابط و ساختارهای پیچیده در مسائل متنوع دست پیدا کنیم. به عنوان نوآوری دیگر، در این مقاله به تعریف تفکر محاسباتی انسان محور اقدام شده است. با توجه به این که در تعریف تفکر محاسباتی تمرکز بر حل مسائل به کمک ابزارهای محاسبه‌گر است، در کاربرد آن در حل مسائل محدودیت‌هایی وجود دارد. ما با معرفی تفکر محاسباتی انسان محور که در آن انسان به عنوان اصلی‌ترین ابزار هوشمند و محاسبه‌گر می‌باشد، نشان می‌دهیم که به کمک تفکر محاسباتی انسان محور می‌توان با نگاهی جامع‌تر به

حل مسائل دنیای واقعی پرداخت. همچنین با ارائه مثال‌هایی نشان می‌دهیم که بهره‌گیری از تفکر محاسباتی انسان محور به ایجاد رویکردهای نوآورانه در علوم مختلف منجر شده، پلی میان علوم مختلف برای دستیابی به راه‌حل‌های جامع‌تر فراهم می‌کند. نوآوری سوم، بررسی رابطه‌های میان ذهن، زبان و دنیای خارج از نظر تفکر منطقی و مقایسه آن با رابطه‌های موجود میان ذهن، ابزار هوشمند و مسائل دنیای واقعی از دیدگاه تفکر محاسباتی انسان محور است. به کمک تحلیل روابط، نقش تفکر محاسباتی انسان محور در حل مسائل دنیای واقعی نمود بیشتری پیدا می‌کند. با بررسی کنشگری میان انسان و مسائل دنیای واقعی به نحوه شکل‌گیری، رشد و توسعه تکنولوژی می‌پردازیم. قسمتی از مقاله به بررسی و تحلیل ارتباط متقابل انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی به همراه تبیین نقش تفکر محاسباتی انسان محور در نظارت بر برقراری تعاملات صحیح میان آن‌ها اختصاص یافته است. در این مقاله فرآیند آموزش به عنوان بازخورد کنشگری میان انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تأثیر آموزش صحیح و اصولی بر رشد آگاهی افراد مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به این نوآوری‌ها، امید است که این نوشته بتواند نقش مؤثری در معرفی تفکر محاسباتی انسان محور، در پیش‌برد دانش و بهبود عملکرد در زمینه‌های مرتبط با آن - با هدف تربیت افراد آگاه و منطقی - ایفا کند.

در بخش دوم این مقاله با اشاره به سیر تاریخی تفکر محاسباتی، به تبیین ریشه‌های این نوع تفکر در میان اندیشه‌های دانشمندان گذشته می‌پردازیم. در بخش سوم با استناد به تعاریف متخصصان و پژوهشگران فعال در علوم مختلف، تعاریف گوناگون از تفکر محاسباتی تحلیل و بررسی می‌شوند. بخش چهارم را به تشریح مؤلفه‌های مشترک تفکر محاسباتی از دیدگاه‌های مختلف اختصاص داده، به سایر مؤلفه‌های مرتبط با تفکر محاسباتی اشاره می‌کنیم. بخش پنجم را به تعریف رسته تفکر محاسباتی اختصاص داده‌ایم. در بخش ششم رسته تفکر محاسباتی انسان محور معرفی شده است. بخش هفتم به روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی (خارج) در تفکر منطقی و تفکر محاسباتی انسان محور، و بخش هشتم به ارتباط رسته تفکر محاسباتی با زیست‌شناسی اختصاص یافته است. در بخش نهم ارتباط مستمر و پیوسته انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی و نقش تفکر محاسباتی انسان محور در نحوه ارتباطات آن‌ها بررسی شده‌اند. در بخش دهم، نقش تفکر محاسباتی انسان محور در به وجود آمدن و توسعه هوش مصنوعی و ارتباط متقابل آن‌ها را بررسی می‌کنیم. در بخش یازدهم به نقش تفکر محاسباتی انسان محور در فرآیند آموزش و افزایش آگاهی افراد می‌پردازیم. در بخش پایانی به بحث و گفتگو و نتیجه‌گیری از مطالب بیان شده می‌پردازیم.

۲. سیر تاریخی تفکر محاسباتی - یک سوال اساسی

تفکر و اندیشیدن، قدمتی به اندازه حضور بشر در این کره خاکی دارد و تفکر محاسباتی در مفهوم ذاتی خود از همان ابتدا با اندیشه انسان قرین بوده است. وجود یک نظم منطقی و حساب شده در میان پدیده‌های جهان پیرامون ما کشف روابط موجود در طبیعت را به کمک تفکر محاسباتی و منطقی ممکن می‌سازد. در طول تاریخ، در واقع این خود انسان بوده که به کمک تفکر، در محیط اطراف خود تغییر ایجاد کرده، در اقدامی هوشمندانه برای حفظ ارتباط و همسویی با این تغییرات، نحوه تفکر خود را به‌روز رسانی نموده است. این همان قدرت انسان هوشمند است که در دنیای پیرامون خود دست به تغییر می‌زند و از بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج همین تغییرات به دستاوردهای تکنولوژیک دست می‌یابد. پس پاسخ این پرسش اساسی که «آیا تفکر محاسباتی با ورود کامپیوترها و سیستم‌های هوشمند به زندگی بشر، به وجود آمده؟» منفی است.

ریشه‌های تفکر محاسباتی را می‌توان در تفکر منطقی و تفکر فلسفی یافت. با نگاهی به تألیفات و اثرات فاخر دانشمندان و فیلسوفان نامی ایران و جهان، ریشه‌ها و بنیان تفکر محاسباتی را می‌توان در جای جای تفکر، بینش، آثار و تألیفات آنان مشاهده کرد. اگرچه در اعصار گذشته، از کامپیوترها و دستگاه‌های هوشمند به معنای امروزی، اثری نبود، ولی اساس و بنیان تفکر محاسباتی در فعالیت‌ها و تألیفات به جا مانده از گذشتگان به وضوح دیده می‌شود. مؤلفه‌های تفکر محاسباتی را می‌توان در اندیشه‌های والای خوارزمی، فارابی، بیرونی، ابن سینا، سهروردی و دیگر دانشمندان ایرانی دید. شاهد و گواه روشن این امر، قرار داشتن این دانشمندان در زمره فیلسوفان و متفکران بزرگ در طول تاریخ است. خوارزمی (۱۸۵-۲۳۳ ه ق) که آوازه او در عالم ریاضیات و فلسفه، طنین انداز شده است، بنیان گذار علم جبر می‌شود و یکی از دانشمندان شناخته شده در علوم فلسفی و ریاضی به شمار می‌رود. واژه الگوریتم که امروزه فراگیر و مستعمل گردیده است، در واقع بر گرفته از نام خوارزمی، دانشمند پرآوازه ایرانی است. فارابی (۲۵۹-۳۳۹ ه ق) دانشمند دیگری است که از بزرگان فلسفه، ریاضیات و منطق به شمار می‌آید. فارابی در مبحث الفاظ و اصطلاحات منطق به زبان عربی، کتاب *الألفاظ المستعملة فی المنطق* را به رشته تحریر درآورده است [۶۰]. این کتاب، هم از نظر تحول تاریخی و صناعت منطق اهمیت دارد و هم از جهت مباحث و شیوه بیان آن‌ها ارزشمند است. فارابی به حدی در زمینه فلسفه و منطق اعتبار دارد که به دلیل فعالیت‌های فاخرش لقب معلم ثانی را به خود می‌گیرد [۶۱]. بیرونی (۳۶۲-۴۴۲ ه ق) شاع کره زمین را با نزدیکی فوق العاده به محاسبات امروزی حساب کرده است. ابن سینا (۳۷۰-۴۲۸

ه ق) دیگر دانشمند سرشناس ایرانی است که در رساله *منطق دانشنامه علایی*، بینش متعالی خویش را در زمینه منطق به رخ می‌کشد [۵۶]. در دیگر اثر فاخر ابن سینا که *شفا* نام دارد، وی پس از مباحثی که در باب منطق بیان کرده، درباره ساختن آلات رصدی و در بخشی هم درباره ریاضیات که شامل هندسه، علم حساب، موسیقی و هیئت می‌باشد، مطالب گران‌بهای ارائه کرده است [۶۲]. سهروردی (۵۴۹-۵۸۷ ه ق) فردی است که در منطق دیدگاه‌هایی نو عرضه کرده که از این دیدگاه‌ها با عنوان قواعد اشراقی در منطق یاد می‌شود. هدف او در منطق حکمه الاشراق، بیان قواعد منطق به صورت بسیار مختصر و کاهش دادن قواعد منطقی به چند قاعده اصلی است.

در این مسیر و در سده‌های بعدی هم شاهد حضور مستمر و پیوسته دانشمندان و متفکران پرآوازه ایرانی در زمینه‌های مختلف، فلسفی و منطق هستیم. با مطالعه آثار و بررسی اختراعات دانشمندان چون خواجه نصیرالدین طوسی (۵۹۷-۶۷۲ ه ق)، قطب‌الدین شیرازی (۶۳۳-۷۱۰ ه ق)، شیخ بهایی (۹۵۳-۱۰۳۰ ه ق) و بسیاری دیگر از بزرگان، می‌توان تأثیر تفکر محاسباتی را در زمینه‌های مختلف مشاهده کرد. با بررسی سیر تاریخ علم در ایران در کتاب مقدمه بر *تاریخ علم نوشته جرج سارتن*^۱، تعداد پرشماری از دانشمندان ایرانی به چشم می‌آیند که فعالیت‌های هر کدام نشان دهنده توانایی آن‌ها در استفاده از مهارت‌های تفکر محاسباتی است [۳۰، ۵۹]. از سوی دیگر در دوران قبل از میلاد، دانشمندان و متفکران غربی مانند ارسطو، افلاطون، سقراط و بقراط در یونان و کنفوسیوس در چین، به بررسی و تحلیل مسائل مختلف پرداخته و پایه‌گذاران اصول منطقی و تحلیلی شده‌اند. این اندیشمندان با استفاده از روش‌های محاسباتی و منطقی، به درک عمیق‌تری از جهان و پدیده‌های آن دست یافتند. با گذر زمان و در سال‌های بعد از میلاد تا اوایل قرن ۱۶، با افول علم در غرب، شاهد دوران طلایی رشد و پیشرفت دانشمندان در عالم اسلام و به ویژه در ایران هستیم. دانشمندان ایرانی و مسلمان با استفاده از روش‌های تحلیلی و محاسباتی، به پیشرفت‌های قابل توجهی در علم دست یافتند و میراث علمی غنی را برای نسل‌های آینده به جا گذاشتند. از اوایل قرن ۱۶ به تدریج، شاهد ظهور دانشمندان و عالمان نام‌آشنا در غرب هستیم که با اتکا بر مهارت‌های تفکر محاسباتی به بررسی مسائل علمی و فلسفی و پیشرفت دانش بشری اهتمام ورزیده‌اند.

توجه به تاریخ رشد بشر، ردپای بسیاری از تفکر محاسباتی را در زمینه‌های مختلف شامل علوم ریاضی، طبیعی و انسانی و جنبه‌های هنری و ادبی را نشان می‌دهد. به واقع، اگر مؤلفه اتوماسیون را به معنای صرف آن، نادیده بگیریم، نقش و تأثیر تفکر محاسباتی در طول تاریخ و در زمینه‌های ذکر شده به وضوح قابل مشاهده



شکل ۴: ماشین انیگما

ماشین حساب مکانیکی، دستگاهی مکانیکی است که اعمال اصلی حساب را به صورت خودکار انجام می‌دهد (شکل ۵).



شکل ۵: ماشین حساب مکانیکی

در ادامه تفکر محاسباتی را به صورتی جامع مورد نقد و بررسی قرار می‌دهیم و به معرفی تعاریف متنوع تفکر محاسباتی توسط محققان عصر حاضر می‌پردازیم.

۳. تفکر محاسباتی

دکتر سیمور پاپرت^۳ (۲۰۱۶-۱۹۲۸)، نخستین فردی است که از تفکر محاسباتی به شکلی که در سال‌های اخیر متداول شده، سخن به میان آورده است. وی در جریان تحقیق خود در مورد استفاده از کامپیوتر و نرم افزار در حل مسائل هندسی ادعا کرد که «تفکر محاسباتی می‌تواند در تعریف رابطه بین یک مسأله و راه‌حل آن و ساختار موجود در داده‌ها به کار رود.» مطالب زیر مربوط به گوشه‌هایی از سخنرانی او در سال ۱۹۷۸ درباره نقش رایانه در آموزش مدارس و نیز نقش تفکر محاسباتی در فرآیندهای یادگیری دانش‌آموزان می‌باشد. برای مشاهده متن کامل سخنرانی، می‌توانید به [۳۶] مراجعه کنید.

پاپرت امیدوار بود که به کمک رایانه‌ها تغییر بزرگی در آموزش مدارس به وجود آید. او و همکارانش شروع به ایجاد مجموعه‌ای از تمام ویژگی‌های خوب زبان‌های برنامه‌نویسی شناخته شده کردند و سپس بر اساس فعالیت‌های انجام شده، نتیجه‌گیری کردند که افراد، در هر سنی می‌توانند برنامه‌نویسی کنند. به نظر آن‌ها دلیل اصلی عدم اقبال افراد به تعامل با رایانه‌ها به عدم جذابیت زبان‌های

است. استفاده از وسایل محاسباتی آنالوگ مانند چرتکه و ماشین حساب‌های مکانیکی و ابزار مهندسی مانند اسطرلاب و سایر ابزار مورد استفاده در طول تاریخ، همگی نشانه‌هایی از وجود تفکر محاسباتی در گذر زمان می‌باشند.

چرتکه اولین رایانه شناخته شده و پیشرفته‌ترین سامانه محاسباتی شناخته شده تا ۲۰۰۰ سال پیش است (شکل ۱).



شکل ۱: چرتکه

ماشین آنتیکیترا^۱ یک رایانه آنالوگ باستانی مربوط به اوایل قرن یکم پیش از میلاد مسیح که به منظور انجام محاسبات مربوط به اخترشناسی و کسوف و خسوف طراحی شده است (شکل ۲).



شکل ۲: ماشین آنتیکیترا

اسطرلاب وسیله‌ای در نجوم رصدی بوده و اکنون بیشتر برای کاربردهای آموزشی به کار می‌رود (شکل ۳).



شکل ۳: اسطرلاب ایرانی

ماشین انیگما^۲ دستگاهی برای رمزگذاری بود که از اوایل تا اواسط قرن بیستم، برای محافظت از ارتباطات تجاری، دیپلماتیک و نظامی توسعه یافت و مورد استفاده قرار می‌گرفت (شکل ۴).

1. Antikythera
2. Enigma

3. Seymour Papert

[۱۶،۲۲]. محققان از زوایای مختلف به تفکر محاسباتی نگریسته، تعاریف متنوعی از آن ارائه کرده‌اند. بنابراین، مفاهیم اساسی و گستره این رشته به شیوه‌های گوناگون توسط افراد مختلف ترسیم شده است. توجه گسترده به تفکر محاسباتی در سال ۲۰۰۶، توسط مقاله وینگ^۲ جلب شد [۵۱]. وینگ، تفکر محاسباتی را اینگونه تعریف می‌کند: «تفکر محاسباتی شامل حل مسائل، طراحی سیستم‌ها و درک رفتار انسان با استفاده از مفاهیم اساسی در علوم کامپیوتر است [۵۱]». با این حال، پس از بررسی‌های بیشتر و بازنگری‌های تفصیلی جنبه‌های مختلف تفکر محاسباتی، تعریف جدیدی در سال ۲۰۱۱ ارائه شد. به عقیده وینگ، «تفکر محاسباتی مجموعه‌ای از فرآیندهای فکری است که در فرمول‌بندی مسائل و یافتن راه‌حل‌های آن‌ها نقش دارد، به طوری که راه‌حل‌ها به شکلی نمایش داده می‌شوند که می‌توانند به طور مؤثر توسط یک عامل پردازش اطلاعات اجرا شوند [۵۲]». به عبارتی دیگر، تفکر محاسباتی، فرآیند شناخت جنبه‌های محاسباتی در دنیای پیرامون ما است و ابزارها و شیوه‌های علوم کامپیوتر را برای درک و استدلال در مورد سیستم‌ها و فرآیندهای طبیعی و مصنوعی به کار می‌گیرد. وینگ در تعریف تفکر محاسباتی به اهمیت فرمول‌بندی مسائل اشاره دارد که یک مرحله کلیدی در حل مسئله است. فرمول‌بندی صحیح می‌تواند به شفافیت و وضوح در درک مسئله و راه‌حل کمک کند. اشاره به این که راه‌حل‌ها باید به شکلی نمایش داده شوند که توسط یک عامل پردازش کننده اطلاعات قابل اجرا باشند، نشان‌دهنده توجه به جنبه عملی بودن راه‌حل‌ها است. این نکته برای توسعه الگوریتم‌ها و سیستم‌های هوش مصنوعی بسیار مهم است. در مقابل، تعریف به نقش خلاقیت در فرمول‌بندی مسائل اشاره نمی‌کند. همچنین در این تعریف منظور از فرآیندهای فکری به طور مشخص بیان نشده است و به زمینه‌های مختلفی مانند علوم اجتماعی، مهندسی و هنر که این فرآیندها در آن‌ها به کار می‌روند، اشاره نشده است.

یاداو^۳ و همکاران تفکر محاسباتی را فرآیند ذهنی برای انتزاع مسائل و ایجاد راه‌حل‌های خودکار تعریف کرده‌اند [۵۴]. این تعریف بر اهمیت توانایی انتزاع و تجزیه و تحلیل مسائل تأکید می‌کند که یکی از مهارت‌های کلیدی در علوم کامپیوتر و ریاضیات است. اشاره به ایجاد راه‌حل‌های خودکار نشان‌دهنده اهمیت کارایی و بهینه‌سازی در حل مسائل است که در دنیای مدرن بسیار حائز اهمیت است. توجه به برخی از جنبه‌های مهم تفکر محاسباتی، مانند خلاقیت و تفکر انتقادی در تعریف ارائه شده توسط یاداو وجود ندارد. این تعریف بیشتر بر نتایج راه‌حل‌های به دست آمده خودکار تمرکز دارد و فرآیندهای فکری و مراحل حل مسئله را به خوبی منعکس نمی‌کند. از طرفی بر طبق این تعریف به نظر می‌رسد

برنامه‌نویسی باز می‌گشت. به همین دلیل گرافیک را وارد زبان برنامه‌نویسی کردند.

اکنون کودکان می‌توانستند عکس بسازند و کارهایی را با تصاویر کامپیوتری انجام دهند که با مداد و کاغذ نمی‌توانستند انجام دهند. آن‌ها می‌توانستند دقت کنند، تکرارپذیری داشته باشند، حرکت را به تصویر بکشند، رنگ را تغییر دهند و انواع کارهای دیگری را که با مداد و کاغذ قابل انجام نبود، انجام دهند. به نظر آن‌ها کامپیوتر به دلیل این که تکنولوژی بالایی داشت، می‌توانست ارتباط جدیدی را بین زبان آموز و جهان ایجاد کند.

پاپرت و همکارانش برای آموزش هندسه به کودکان، از روشی استفاده کردند که به آن «لاک‌پشت» می‌گفتند (شکل ۶). کودکان به کمک لاک‌پشت می‌توانستند اشکال مختلف را رسم و مفاهیم هندسی را یاد بگیرند.



شکل ۶: ربات لاک پشت بر پایه زبان برنامه نویسی لگو^۱.

پاپرت اعتقاد داشت که کودکان قبل از اینکه به کلاس درس وارد شوند، مقدار زیادی از دانش ریاضی و سایر انواع دانش را کسب می‌کنند. به نظر او این دانشی نبود که به صورت مجزا به دست آید. او اعتقاد داشت که این دانش نوعی یادگیری است که بدون آموزش، بدون برنامه درسی، آزمون یا نمره انجام می‌شود و مطمئناً به میزان قابل توجهی محتوای آموزشی وجود دارد که از این طریق آموخته می‌شود.

فرآیند یادگیری از طرق گوناگون انجام می‌پذیرد. در نتیجه برای یادگیری مفاهیم مختلف به روش‌های متفاوتی نیاز داریم. اکنون رایانه زیرساخت‌های فن‌آوری را برای ما به ارمغان آورده است که می‌تواند تنوع قابل توجهی در محیط یادگیری را ایجاد کند. این محیط منعطف آموزشی، بستر گسترده‌ای را برای یادگیری مطالب گوناگون فراهم می‌سازد.

به دلیل گستردگی زمینه‌های کارکردی تفکر محاسباتی، ارائه یک تعریف واحد و جامع مورد پذیرش همگان بسیار دشوار است

1. logo
2. wing

3. yadav

اشاره دارد. این مهارت به ویژه در موقعیتهایی که نیاز به قضاوت و تصمیم‌گیری فوری وجود دارد، اهمیت دارد. شهود می‌تواند به عنوان یک روش حل مسأله در زمینه‌هایی نظیر تفکر خلاق و حل مسائل پیشرفته به کار گرفته شود. در حالی که تبدیل ورودی‌ها به خروجی ممکن است به نظر ساده بیاید، اما در بسیاری از مسائل واقعی انجام این کار بسیار پیچیده است. باید در نظر داشت که در فرآیند حل مسأله، بازخورد و اصلاح مداوم بسیار مهم است. این تعریف به این جنبه به طور مستقیم اشاره ندارد.

از دید همدینگر^۳، تفکر محاسباتی این است که به مخاطبان بیاموزیم، چگونه مانند یک اقتصاددان، یک فیزیک‌دان و یک هنرمند فکر کنند و بفهمند چگونه از محاسبات برای حل مشکلات خود استفاده کنند و سؤالات جدیدی را کشف کنند که به کمک تفکر محاسباتی پاسخ مناسب را پیدا کنند [۲۳]. این تعریف به تنوع روش‌های تفکر اشاره کرده و نشان می‌دهد که تفکر محاسباتی می‌تواند شامل رویکردهای مختلف از نظر افراد در رشته‌های گوناگون باشد. این جنبه می‌تواند به یادگیری عمیق‌تر و گسترده‌تر کمک کند. تأکید بر استفاده از محاسبات برای حل مشکلات و کشف سؤالات جدید، اهمیت خلاقیت و نوآوری را در تفکر محاسباتی نمایان می‌سازد و می‌تواند به ترغیب افراد به تفکر خلاقانه کمک کند. اشاره به کاربردهای عملی تفکر محاسباتی در رشته‌های مختلف مانند اقتصاد، فیزیک و هنر به مخاطبان این امکان را می‌دهد که ارتباط بیشتری با دنیای واقعی برقرار کنند و چگونگی استفاده از تفکر محاسباتی را در حل مسائل مختلف مشاهده کنند. با این حال، تعریف به اصول بنیادین تفکر محاسباتی، از جمله تجزیه و تحلیل داده‌ها، الگوریتم‌سازی و مدل‌سازی اشاره نکرده است. تعریف همدینگر از تفکر محاسباتی اگرچه به زمینه‌های خلاقانه در تفکر محاسباتی اشاره دارد ولی به جنبه‌های پیاده‌سازی و نحوه اجرای آن توسط ماشین محاسبه‌گر نپرداخته است.

تعاریف بالا نشان‌دهنده تنوع بالای نحوه نگرش افراد به تفکر محاسباتی است، با این حال یک وجه مشترک در میان همه آن‌ها به چشم می‌آید. تمامی تعاریف بالا تفکر محاسباتی را در تعامل انسان و ماشین محاسبه‌گر برای حل مسائل در نظر گرفته‌اند و به طور ضمنی بر عملکردها و فرآیندهای شناختی اشاره دارند ولی به طور مشخص به نحوه حل مسأله به کمک تفکر محاسباتی نپرداخته‌اند. فرآیندهای شناختی به فعالیت‌های ذهنی اشاره دارند که شامل درک، یادگیری، تفکر، حل مسأله، تصمیم‌گیری و حافظه می‌شوند. این فرآیندها به ما کمک می‌کنند تا اطلاعات را دریافت، پردازش و ذخیره کنیم و همچنین به ما امکان می‌دهند تا با محیط اطراف خود تعامل کنیم.

که تفکر محاسباتی تنها در زمینه‌های فنی کاربرد دارد و به دیگر زمینه‌ها و جنبه‌های انسانی توجه کافی نشده است.

از نظر فاربر^۱، تفکر محاسباتی فرآیند شناخت جنبه‌های محاسبات در دنیایی است که ما را احاطه کرده است و ابزارها و تکنیک‌های علوم کامپیوتر را برای درک و استدلال در مورد سیستم‌ها و فرآیندهای طبیعی و مصنوعی به کار می‌گیرد [۱۷]. جنبه‌های محاسباتی به ویژگی‌ها، ساختارها و رفتارهایی اشاره می‌کند که می‌توانند با استفاده از مفاهیم و ابزارهای علوم کامپیوتر تحلیل، مدل‌سازی یا شبیه‌سازی شوند. این جنبه‌ها در سیستم‌های طبیعی (مانند فرآیندهای زیستی یا فیزیکی) و در سیستم‌های مصنوعی (مانند نرم‌افزارها، شبکه‌ها یا ماشین‌ها) قابل مشاهده است. این تعریف به وضوح دامنه وسیع تفکر محاسباتی را پوشش می‌دهد و به درک سیستم‌ها و فرآیندهای طبیعی و مصنوعی اشاره می‌کند. این امر نشان‌دهنده اهمیت استفاده از تفکر محاسباتی در زمینه‌های مختلف است. اشاره به ابزارها و تکنیک‌های علوم کامپیوتر نشان‌دهنده کاربرد عملی آن‌ها در فرآیند استفاده از تفکر محاسباتی در حل مسائل دنیای واقعی است. این نکته می‌تواند به یادگیری و آموزش این مهارت‌ها کمک کند. تعریف فاربر بر اهمیت درک عمیق سیستم‌ها و فرآیندها تأکید دارد و نشان می‌دهد که تفکر محاسباتی می‌تواند به تحلیل و بهبود این سیستم‌ها کمک کند. این تعریف به نقش تفکر انتقادی و خلاق در تفکر محاسباتی اشاره نمی‌کند در حالی که تفکر محاسباتی تنها به استفاده از ابزارها محدود نمی‌شود، بلکه شامل توانایی تحلیل و ارزیابی نیز هست.

دنینگ^۲ در تعریف تفکر محاسباتی بیان می‌دارد که تفکر محاسباتی، جهت‌گیری ذهنی برای فرمول‌بندی مسائل، به صورت تبدیل برخی ورودی‌ها به خروجی و جستجوی الگوریتم‌هایی برای انجام تبدیل‌ها است [۱۴]. این تعریف به وضوح به فرآیندهای منطقی و سیستماتیک پرداخته، نشان می‌دهد که تفکر محاسباتی شامل تجزیه و تحلیل ورودی‌ها و خروجی‌هاست. استفاده از این روش به ویژه در حل مسائل پیچیده بسیار مفید است. تأکید بر جستجوی الگوریتم‌ها نشان‌دهنده اهمیت روش‌های سیستماتیک و قابل تکرار در حل مسائل است که می‌تواند به یادگیری و آموزش روش‌های حل مسأله کمک کند. همچنین، این تعریف به حوزه‌های مختلفی از جمله برنامه‌نویسی، ریاضیات و علوم کامپیوتر اشاره دارد که به استفاده از تفکر محاسباتی کمک می‌کند. با این حال، این تعریف به طور کلی بر جنبه‌های منطقی و الگوریتمیک تأکید دارد و کمتر به جنبه‌های انسانی، خلاقیت و شهود در فرآیند حل مسأله اشاره می‌کند. خلاقیت در حل مسأله به معنای توانایی تولید ایده‌ها و راه‌حل‌های نوآورانه برای مشکلات است. شهود به توانایی تجزیه و تحلیل سریع بر اساس تجربه، دانش ضمنی و درک ناخودآگاه ما

واقعی اهمیت زیادی دارد. ما باید بتوانیم مسائل واقعی را به صورت محاسباتی مدل سازی کنیم تا بتوانیم راه حل های مؤثری برای آن ها پیدا کنیم. این مدل سازی می تواند شامل شبیه سازی، تحلیل داده ها و استفاده از الگوریتم ها باشد. در ریاضیات، انتزاع به معنای جدا کردن ویژگی ها و روابط اصلی از جزئیات خاص است. این مفهوم به ریاضی دانان کمک می کند تا الگوها و اصول کلی را شناسایی کرده، در حل مسائل به کار ببرند. به عنوان مثال، در نظریه مجموعه ها، انتزاع به ما این امکان را می دهد که مجموعه ها را مستقل از اعضای خاص آن ها بررسی کنیم. در جبر، انتزاع امکان کشف الگوهای مشترک در سیستم ها را می دهد. انتزاع می تواند به ایجاد ساختارهای کلی مانند گروه ها و حلقه ها منجر شود که در زمینه های مختلف قابل استفاده اند.

در دوران باستان ریاضیدانانی مانند فیثاغورث^۲ و اقلیدس^۳ مفاهیم انتزاعی را در قالب اصول موضوعه هندسه و عددشناسی معرفی کردند. از نظر ارسطو^۴، انتزاع به معنای حذف کیفیات از تجربه ملموس است. در قرون وسطی، ریاضیدانان اسلامی مانند خیام و ابن هیشم به توسعه نظریه های انتزاعی پرداخته، به گسترش جبر و هندسه کمک کردند. در قرن های بعدی و در دوره رنسانس، ریاضیدانانی مانند دکارت و فرما با معرفی مختصات دکارتی و اصول جبر، مفهوم انتزاع را در ریاضیات به سطح جدیدی ارتقا دادند. دکارت^۵ در فلسفه خود بر اهمیت تفکر انتزاعی تأکید کرده، آن را به عنوان پایه ای برای شناخت حقیقت و واقعیت مطرح کرده است. او اعتقاد داشت: «من فکر می کنم، پس هستم»، که نشان دهنده اهمیت تفکر انتزاعی در شناخت وجود است. در قرن نوزدهم، انتزاع به طور گسترده تری وارد ریاضیات شد. ظهور نظریه مجموعه ها توسط جورج کانتور و توسعه جبر انتزاعی توسط هیلبرت، انتزاع را به عنوان ابزاری اساسی در ریاضیات مدرن تثبیت کرد. با شروع قرن بیستم ریاضیات به سمت انتزاعی تر شدن حرکت کرد و ساختارهای پیچیده تری مانند نظریه رسته ها و توپولوژی توسعه یافتند. اینشتین^۶ که از بزرگترین دانشمندان قرن بیستم به حساب می آید بر این باور بود که انتزاع و تفکر انتزاعی به ما کمک می کند تا مفاهیم پیچیده را ساده کنیم و با استفاده از مدل های ریاضی، پدیده های طبیعی را بهتر درک کنیم. او می گفت: «تفکر انتزاعی می تواند ما را به درک عمیق تری از واقعیت برساند [۲]». انتزاع نه تنها در ریاضیات، بلکه در بسیاری از جنبه های دیگر علوم مورد استفاده قرار می گیرد. هانا آرنست^۷، فیلسوف سیاسی، به تأثیر انتزاع بر تفکر انسانی اشاره کرده و آن را ابزاری برای تحلیل مسائل اجتماعی و سیاسی می داند. او بر این باور است که انتزاع می تواند به ما در درک بهتر ساختارهای اجتماعی و روابط انسانی کمک کند. نیکلاوس ویرت^۸، دانشمند

می توان نتیجه گرفت که هدف اصلی از مطالعه تفکر محاسباتی، آموختن مهارت هایی به افراد است که بتوانند به شیوه های بهینه و مؤثر به حل مسائل پرداخته و به ارتقاء سطح زندگی خود، اقدام نمایند. از نظر ما بهتر است تفکر محاسباتی به گونه ای تعریف شود که ضمن تأکید بر تفکر الگوریتمی که شامل اجزای فهمیدن، مدل کردن، طراحی و اعمال الگوریتم است، قابلیت استفاده توسط همه افراد با زمینه های فکری مختلف را داشته باشد. در ادامه به معرفی مؤلفه ها و ارائه تعریف جدید با در نظر گرفتن ویژگی های ذکر شده می پردازیم.

۴. مؤلفه های تفکر محاسباتی

تفکر محاسباتی از نظر محققان دارای مؤلفه های مختلفی است که هریک از آن ها در فرآیند تفکر محاسباتی نقش بخصوصی دارند. این مؤلفه ها شامل انتزاع، تجزیه، الگوریتم، اشکال زدایی، اتوماسیون و تعمیم است که در ادامه توضیح داده می شوند (شکل ۷).



شکل ۷: مؤلفه های مشترک تفکر محاسباتی از دیدگاه های مختلف.

۱) انتزاع^۱

انتزاع فرآیندی است که با کاهش جزئیات غیرضروری یک موضوع، بدون از دست دادن کلیات، به درک بهتر آن موضوع کمک می کند. این مفهوم به افراد امکان می دهد تا با کاهش اطلاعات و جزئیات، مسائل و روابط پیچیده را بهتر درک کرده و با آن ها ارتباط برقرار کنند. در واقع، انتزاع به ما کمک می کند تا پیچیدگی ها را به طور مؤثرتری مدیریت کنیم. در تفکر محاسباتی، مدل سازی دنیای

1. Abstraction
2. Pythagoras
3. Euclid
4. Aristotle

5. Descartes
6. Einstein
7. Arendt
8. Wirth

علوم کامپیوتر و طراح زبان‌های برنامه‌نویسی، انتزاع را به عنوان یک اصل کلیدی در طراحی نرم‌افزار معرفی کرده، بر این باور است که انتزاع به ما اجازه می‌دهد تا پیچیدگی‌ها را کاهش دهیم و سیستم‌های نرم‌افزاری را به گونه‌ای سازماندهی کنیم که قابل فهم و نگهداری (به‌روز رسانی و ارتقاء) باشند.

(۲) تجزیه^۱

تجزیه، روشی برای تفکر در مورد مصنوعات، از نظر اجزای سازنده آن‌هاست. به کمک تجزیه می‌توان اجزای یک مسأله را به طور جداگانه درک، حل و ارزیابی کرد. این امر علاوه بر آسان‌تر کردن حل مسائل پیچیده، درک موقعیت‌های جدید و طراحی سیستم‌های بزرگ را آسان می‌نماید. تجزیه مسأله، روشی برای تفکیک مسائل و شکستن آن‌ها به اجزای کوچک‌تر و ایجاد درک عمیق‌تر است. این روش با نام «تقسیم و تسلط» نیز شناخته می‌شود. تجزیه و تحلیل در بسیاری از زمینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پردازش سیگنال‌ها، برای تحلیل توپولوژیک و هندسی سیگنال‌ها، تجزیه طیفی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تحلیل داده‌ها و یادگیری ماشین، تجزیه ماتریس‌ها مانند تجزیه مقادیر تکین برای کاهش ابعاد و استخراج ویژگی‌ها کاربرد دارد. در شبکه‌های گرافی، تجزیه و تحلیل‌های گراف در یافتن روابط بین داده‌ها، نقش اساسی دارد. الگوریتم‌های پردازش گراف و پایگاه‌های داده‌ای در زمینه‌هایی متنوع مانند شبکه‌های اجتماعی و موتورهای جستجوگر مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرند. تجزیه اعداد به عوامل اول در رمزنگاری امری رایج است. تجزیه چندجمله‌ای‌ها به عوامل ساده‌تر برای حل معادلات و تحلیل رفتار آن‌ها صورت می‌گیرد. در مدل‌سازی ریاضی، سیستم‌های پیچیده به زیرسیستم‌های ساده‌تر برای تحلیل و شبیه‌سازی تجزیه می‌شوند. در مهندسی کنترل، سیستم‌های دینامیکی به زیرسیستم‌های مستقل برای طراحی و کنترل تجزیه می‌شوند.

تجزیه در طول تاریخ و در زمینه‌های گوناگون به ویژه در مباحث ریاضی مورد استفاده بشر قرار گرفته است. در دوران باستان و در تمدن‌های مصر و بابل، اعداد و روابط بین آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گرفت. مصریان و بابلی‌ها از روش‌های ابتدایی برای تجزیه اعداد و حل معادلات استفاده می‌کردند. در یونان باستان، ریاضی‌دانانی مانند اقلیدس و ارشمیدس به تجزیه و تحلیل هندسی و عددی پرداختند. اقلیدس در کتاب عناصر خود به بررسی خواص اعداد و تجزیه آن‌ها پرداخته است. در قرون وسطی، با پیشرفت چشم‌گیر ریاضیات اسلامی، ریاضی‌دانان مسلمان مانند خوارزمی و ابن هیثم به توسعه علم جبر و تجزیه معادلات کمک کردند. خوارزمی در *الکتاب المختصر فی حساب الجبر و المقابله*، مبانی جبر را معرفی

کرد که شامل تجزیه معادلات بود. سپس در دوران رنسانس با توسعه جبر و ظهور ریاضی‌دانانی مانند کاردانو^۲ و فرما^۳، تجزیه معادلات درجه سوم و چهارم مورد توجه قرار گرفت. این دوره به پیشرفت‌های مهمی در حل معادلات و تجزیه آن‌ها انجامید. قرن هفدهم مصادف با استفاده از تجزیه در جبر خطی است. در این دوره با ظهور ماتریس‌ها و نظریه‌های مربوط به آن‌ها، تجزیه به عنوان یک ابزار کلیدی در جبر خطی مطرح شد. دکارت^۴ با استفاده از سیستم مختصات دکارتی، توانست اشکال هندسی را به معادلات جبری تبدیل کند، که این امر به تجزیه مسائل هندسی به معادلات جبری کمک کرد. در قرن نوزدهم گاوس^۵ به تجزیه اعداد صحیح و تحلیل خواص آن‌ها پرداخت. نظریه اعداد به عنوان یک شاخه مهم ریاضیات شناخته شد و مباحث مرتبط با تجزیه به اعداد اول در این دوره به طور جدی بررسی شد. در قرن بیستم و بیست و یکم با پیشرفت‌های جدید در علوم مهندسی و به ویژه مخابرات و کنترل، استفاده از تجزیه فوریه و تجزیه لاپلاس گسترش بیشتری پیدا کردند. تجزیه در ریاضیات به عنوان یک مفهوم بنیادی، همواره در حال توسعه و گسترش بوده و نقش مهمی در پیشرفت‌های علمی و ریاضی ایفا کرده است.

(۳) الگوریتم

الگوریتم، مجموعه‌ای متناهی از دستورالعمل‌هاست که به ترتیب خاصی اجرا می‌شوند و مسأله‌ای را حل می‌کنند. به عبارتی دیگر، الگوریتم ساختاری هدفمند از مراحل مرتب شده است که با ارائه راه‌حل‌هایی برای تمام اجزای تشکیل دهنده یک مسأله، منجر به حل مسأله اصلی می‌گردد. الگوریتم از نظر ساختاری یک رابطه ریاضی است. البته باید میان الگوریتم و تابع تفاوت قائل شد. الگوریتم و تابع هر دو متغیرهایی را به عنوان ورودی دریافت کرده، پس از انجام یک یا چند پردازش بر روی ورودی‌ها، نتیجه را به صورت خروجی ارائه می‌دهند. در حالی که الگوریتم ممکن است با دریافت یک ورودی مشخص، چندین خروجی متفاوت داشته باشد، از نظر ریاضی در تابع چنین چیزی امکان پذیر نیست.

الگوریتم به اشکال مختلف در بسیاری از زمینه‌ها توسط جوامع بشری در طول تاریخ مورد استفاده قرار گرفته است. در دوران باستان استفاده از الگوریتم‌های محاسباتی در تمدن‌های باستانی مانند بابل و مصر به وفور به چشم می‌آید. به عنوان مثال بابلی‌ها از الگوریتم‌هایی برای حل معادلات ریاضی استفاده می‌کردند. در یونان باستان ریاضی‌دانانی مانند ارشمیدس، اقلیدس و اراتستن^۶ الگوریتم‌هایی برای حل مسائل هندسی و عددی توسعه دادند. از مشهورترین کارهای ارشمیدس، محاسبه مقدار عدد پی و روش‌هایی برای یافتن جذر تقریبی بود. او از روش‌های هندسی و

1. Decomposition
2. Cardano
3. Fermat

4. Descartes
5. Gauss
6. Eratosthenes

در این دوره، ابزارهای مکانیکی مانند ساعت‌ها و آسیاب‌های آبی به کار گرفته شدند. با اختراع ماشین بخار توسط جیمز وات در قرن ۱۸، انقلاب صنعتی آغاز شد و ماشین‌آلات بخار و دستگاه‌های بافندگی مکانیکی به کار گرفته شدند که موجب افزایش تولید و کارایی شدند. سپس ماشین‌هایی مانند ماشین‌های بافندگی ژاکارد^۶ و ماشین‌های دوخت اتوماتیک توسعه یافتند. این ماشین‌ها از الگوهای قابل برنامه‌ریزی استفاده می‌کردند. در ادامه استفاده از سیستم‌های کنترل مکانیکی برای بهبود کارایی و دقت در تولید آغاز شد. با پیشرفت فناوری، اتوماسیون صنعتی به شکلی گسترده وارد عرصه شد. در دهه ۱۹۵۰، استفاده از کامپیوترها برای کنترل فرآیندهای تولید شروع شد. در دهه ۱۹۶۰، کنترل‌کننده‌های منطقی برنامه‌پذیر^۷ معرفی شدند که امکان کنترل اتوماتیک ماشین‌آلات را فراهم کردند. همچنین نرم‌افزارهای اداری و سیستم‌های مدیریت اطلاعات نیز به وجود آمدند که به اتوماسیون فرآیندهای اداری کمک کردند. در سال‌های بعد روبات‌های صنعتی به خطوط تولید وارد شدند و اتوماسیون در سطح گسترده ایجاد شد. این روبات‌ها قادر به انجام وظایف پیچیده‌تر و دقیق‌تر بودند. نرم‌افزارهای طراحی و ساخت^۸ به اتوماسیون فرآیندهای طراحی و تولید کمک کردند. با ظهور فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، اتوماسیون به مرحله جدیدی وارد شد به طوری که سیستم‌های هوشمند قادر به یادگیری و بهبود عملکرد خود بودند. امروزه اتصال دستگاه‌ها به اینترنت و جمع‌آوری داده‌ها به اتوماسیون در صنایع مختلف کمک کرده است. سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء^۹ امکان بررسی ویدیویی و کنترل از راه دور را فراهم کرده‌اند. در سال‌های اخیر اتوماسیون به خانه‌ها نیز راه یافته و سیستم‌های هوشمند خانگی مانند ترموستات‌های هوشمند، روشنایی خودکار و سیستم‌های امنیتی اتوماتیک رایج شده‌اند.

(۵) اشکال زدایی

اشکال زدایی، کاربرد سیستماتیک تجزیه و تحلیل و ارزیابی نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها و تفکر منطقی برای رفع ایرادات برای دستیابی به نتایج دقیق است. اشکال زدایی یکی از اساسی‌ترین مؤلفه‌های تفکر محاسباتی و به طور کلی در فرآیند حل مسئله است. انسان به طور پیوسته در ساده‌ترین فعالیت‌های روزانه تا مسائل پیچیده از اشکال زدایی برای بهبود نتایج استفاده می‌کند. به عنوان مثال امروزه اشکال زدایی به طور گسترده در مباحث مرتبط با شبکه‌های عصبی مصنوعی که الهام گرفته از ساختار مغز انسان هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. اشکال‌زدایی فرآیند تشخیص و رفع مشکلات و خطاها در عملکرد این شبکه‌ها تعریف می‌شود.

الگوریتم‌های تکراری برای نزدیک شدن به مقدار عدد پی استفاده کرد. اقلیدس در کتاب عناصر که به عنوان یکی از نخستین منابع ریاضی شناخته می‌شود نمونه‌هایی از روش‌های الگوریتمیک برای حل مسائل عددی و هندسی ارائه کرده است [۱۵]. به عنوان مثال روش غربال اراتستن برای تعیین اعداد اول و یا روش اقلیدس برای تعیین بزرگترین شمارنده مشترک از نمونه‌های استفاده از الگوریتم در حل مسائل ریاضی است. در ادامه و در قرون وسطی ریاضی‌دانانی مانند خوارزمی الگوریتم‌هایی برای حل معادلات خطی و درجه دوم توسعه دادند. وی در کتاب *الجمع و التفریق* به معرفی روش‌های محاسباتی پرداخت. در دروه رنسانس با پیشرفت‌های ریاضی و ظهور محاسبات عددی، الگوریتم‌ها به تدریج پیچیده‌تر شدند. ریاضی‌دانانی مانند لایبنیتز^۱ و نیوتن^۲ به توسعه روش‌های جدید محاسباتی پرداختند. در قرن نوزدهم با ظهور ماشین‌های محاسباتی، الگوریتم‌ها به طور جدی‌تری مورد توجه قرار گرفتند. بابیج^۳، با طراحی ماشین تحلیلی، به توسعه الگوریتم‌های محاسباتی کمک کرد. در قرن بیستم با ظهور کامپیوترها، الگوریتم‌ها به عنوان یکی از ارکان اصلی علوم کامپیوتر شکل گرفتند. تورینگ^۴ با معرفی ماشین تورینگ به تعریف رسمی الگوریتم و محاسبه کمک کرد. در قرن بیست و یکم و با پیشرفت فناوری، الگوریتم‌های پیچیده‌تری برای مسائل بزرگ و پیچیده، از جمله یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، توسعه یافتند [۱۵].

(۴) اتوماسیون^۵

اتوماسیون به معنای تنظیم و پیکربندی الگوریتم‌های نرم‌افزاری بر روی رایانه‌ها و دستگاه‌های تکنولوژیکی است، به گونه‌ای که این سیستم‌ها بتوانند به‌طور خودکار و مؤثر به حل مشکلات مشابه بپردازند. این تعریف از اتوماسیون، با ورود رایانه‌ها به زندگی بشر مورد استفاده قرار گرفته است. مزیت اصلی اتوماسیون صرفه‌جویی در زمان و انرژی لازم برای انجام کار است که در آن به رایانه دستور داده می‌شود تا مجموعه‌ای از وظایف تکراری را به سرعت و به صورت بهینه انجام دهد. البته تاریخچه اتوماسیون به چند قرن پیش باز می‌گردد. اتوماسیون قبل از ظهور ماشین‌های دیجیتالی، به عنوان فرآیندی برای قادر ساختن ماشین‌ها به انجام عملیات‌های ترتیبی از پیش تعیین شده بدون دخالت یا با دخالت کم انسان شناخته می‌شد. استفاده از ابزار جهت ضرب سکه، ماشین چاپ و دستگاه‌های تراش صنعتی تا رایانه‌های پیشرفته امروزی همگی به نوعی به اتوماسیون اشاره دارند.

اتوماسیون با اختراعاتی مانند چرخ‌دنده‌ها و ابزارهای ساده آغاز شد.

1. Leibniz
2. Newton
3. Babbage
4. Turing
5. Automation

6. Jacquard
7. Programmable Logic Controller
8. Computer-Aided Design (CAD) and Computer-Aided Manufacturing (CAM)
9. Internet of Things

هنگامی که یک شبکه به درستی عمل نکند یا مشکلاتی در ارتباطات شبکه به وجود آید، اشکال زدایی برای پیدا کردن علت مشکل و رفع آن انجام می‌شود. در حال حاضر، شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه‌های مختلفی مانند پردازش تصاویر، پردازش زبان طبیعی و حل مسائل پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌های عصبی قادر به یادگیری از داده‌ها و تشخیص الگوها هستند. اشکال زدایی جزئی جدایی ناپذیر در فعالیت‌های مرتبط با علوم کامپیوتر و سایر علوم است.

۶) تعمیم

تعمیم را می‌توان فرآیند تطبیق راه‌حل‌ها یا الگوریتم‌های فرمول‌بندی شده در حل یک مسأله، برای حل مسائل مشابه در نظر گرفت. تعمیم با شناسایی الگوها، شباهت‌ها و ارتباطات در حل مسائل و بهره‌برداری از آن ویژگی‌ها همراه است. به کمک تعمیم، الگوریتم‌هایی که برخی از مسائل خاص را حل می‌کنند، برای حل

یک کلاس کامل از مسائل مشابه سازگار می‌شوند. استفاده از تعمیم در موارد گوناگون امری رایج است. یادگیری انسان از دوران کودکی با تعمیم همراه است. در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نیز استفاده از تعمیم به طور گسترده صورت می‌پذیرد. در ریاضیات و یادگیری ماشین، الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند شبکه‌های عصبی، درخت‌های تصمیم و ماشین‌های بردار پشتیبان^۱ برای تعمیم الگوها از داده‌های آموزشی به داده‌های جدید طراحی شده‌اند.

در زمینه آمار، تعمیم به فرآیند گسترش نتایج یا استنباط‌های به دست آمده از مجموعه‌ای از نمونه‌ها به یک جامعه بزرگ‌تر اشاره دارد. تعمیم یکی از پایه‌های اصلی تحلیل آماری است و برای پیش‌بینی‌ها یا تصمیم‌گیری‌هایی که بر اساس داده‌های محدود انجام می‌شوند، استفاده می‌شود. به جز موارد ذکر شده، مؤلفه‌های دیگری در تفکر محاسباتی مؤثر هستند که در شکل ۸ به آن‌ها اشاره شده است [۱۸].



شکل ۸: مؤلفه‌های تفکر محاسباتی.

پس از معرفی مؤلفه‌های مؤثر در تفکر محاسباتی، برای درک بهتر از چگونگی کاربست این مهارت در حل مسائل مختلف، در این قسمت به ارائه یک مثال عملی از نحوه کارکرد تفکر محاسباتی و نقش هر یک از مؤلفه‌های آن در زمینه پردازش سیگنال می‌پردازیم. انتزاع در مدل‌سازی سیگنال‌ها به معنای ساده‌سازی داده‌های خام به ویژگی‌های کلیدی مانند فرکانس‌ها است. با استفاده از تکنیک‌های تجزیه، سیگنال‌ها به اجزای فرکانسی مختلف تفکیک می‌شوند تا الگوهای خاص شناسایی و سیگنال

تجزیه شود. الگوریتم‌های پردازش سیگنال شامل نویز زدایی، فیلتر کردن و بازسازی سیگنال می‌باشند که از نتایج به دست آمده از تجزیه در جهت اهداف خاص استفاده می‌کنند. اتوماسیون بر مبنای الگوریتم‌های تولید شده به صورت خودکار دستورات داده شده را بر روی سیگنال‌ها اعمال می‌کند و نقش مهمی در افزایش سرعت محاسبات دارد. اشکال زدایی در این فرآیندها به شناسایی و اصلاح مشکلات در الگوریتم‌ها و مدل‌ها کمک می‌کند. مؤلفه تعمیم، الگوریتم‌هایی را که برای یک نوع سیگنال خاص طراحی شده‌اند

در نظر بگیریم، روابطی مانند زیر را می‌توانیم میان اشیاء مشاهده و تعریف کنیم.

$f: A1 \rightarrow A3$: انتزاع به الگوریتم (ایجاد الگوریتم‌ها از طریق انتزاع)

$g: A2 \rightarrow A4$: تجزیه و تحلیل به اشکال زدایی (تحلیل زیرمسائل برای شناسایی خطاها).

$h: A3 \rightarrow A6$: الگوریتم به تعمیم (تعمیم الگوریتم‌ها برای کاربردهای مختلف).

$i: A4 \rightarrow A5$: اشکال زدایی به اتوماسیون (خودکار کردن فرآیندهای اشکال زدایی).

$J = h \circ f: A1 \rightarrow A3$: انتزاع به تعمیم (استفاده از انتزاعات در تعمیم)

روابط بین این رسته با سایر رسته‌ها به وسیله تابع‌گون تعریف می‌گردند. در واقع تابع‌گون‌ها به مثابه یک پل ارتباطی میان رسته تفکر محاسباتی با سایر رسته‌ها عمل می‌کنند و در فرآیند استفاده از تفکر محاسباتی در زمینه‌های مختلف علوم و حل مسائل دنیای واقعی راه‌گشایی می‌کنند. این رویکرد می‌تواند به توسعه نرم‌افزار و طراحی سیستم‌های پیچیده کمک شایانی کند.

۶. رسته تفکر محاسباتی انسان محور

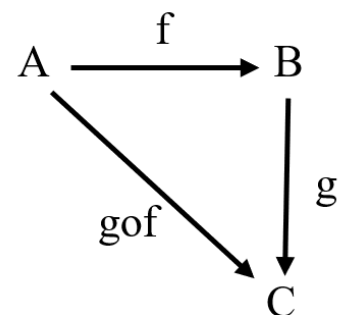
در سال‌های اخیر، تفکر محاسباتی از زوایای مختلفی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که تمامی این دیدگاه‌ها با الزام بر وجود ماشین محاسبه‌گر (محاسبه پذیر) بیان شده‌اند. در نگاه تفکر محاسباتی انسان محور، انسان نقش ماشین محاسبه‌گر (محاسبه ناپذیر) را ایفا می‌کند. لذا در این نوع تفکر گستره عملکردی تفکر محاسباتی افزایش می‌یابد.

یکی از ارکان خلقت جهان پیرامون ما بر اساس محاسبات و منطق است. تفکر محاسباتی انسان محور و تفکر منطقی پیشینه‌ای به اندازه حضور انسان دارند. انسان به کمک تفکر محاسباتی انسان محور و استفاده از آن در علوم مختلف می‌تواند به کشف روابط پدیده‌های دنیای پیرامون خود بپردازد. در نتیجه حتی در عدم حضور ماشین محاسبه‌گر، خود انسان به عنوان هوشمندترین موجود، به عنوان عامل محاسبه‌گر در نظر گرفته می‌شود [۵۷]. در واقع تفکر محاسباتی انسان محور با در بر گرفتن تفکر محاسباتی به جنبه‌های گسترده‌تری از تفکر محاسباتی اشاره دارد (شکل ۱۰). تلفیق خلاقیت انسان و قدرت محاسباتی ابزار محاسبه‌گر منجر به حل مسائل پیچیده‌تر و نوآوری در حل مسائل می‌شود. در تفکر محاسباتی انسان محور افراد می‌توانند با توجه به شرایط و نیازهای موجود، راه‌حل‌های منعطف و متنوعی ارائه دهند و به کمک ابزارهای محاسباتی این راه‌حل‌ها را بهینه‌سازی کنند. این

را در شرایط مشابه قابل استفاده می‌کند.

۵. معرفی رسته تفکر محاسباتی

نظریه رسته‌ها، به مطالعه ساختارهای ریاضی و روابط بین آن‌ها می‌پردازد. به دلیل قابلیت‌های تجربیدی آن، نظریه رسته‌ها در زمینه‌های مختلفی از جمله نظریه گروه‌ها، نظریه توابع، نظریه مجموعه‌ها، برنامه‌نویسی و منطق کاربرد دارد. در نظریه رسته‌ها می‌توان ساختارهای مختلف را مقایسه و تحلیل کرد. این نظریه به ریاضی‌دانان و دانشمندان امکان می‌دهد تا الگوهای مشترک را در زمینه‌های مختلف شناسایی کنند و روابط بین آن‌ها را بهتر درک کنند [۴۸، ۴۶، ۵].



شکل ۹: طرح‌واره یک رسته.

برای شناخت اولیه از نظریه رسته‌ها ابتدا به طور مختصر به معرفی مفاهیم اصلی نظریه رسته‌ها می‌پردازیم.

رسته: یک رسته شامل مجموعه‌ای از اشیاء^۱ و مجموعه‌ای از ریختارها^۲ است که بین این اشیاء وجود دارد. هر ریختار یک نوع تابع است که ارتباطی بین دو شیء برقرار می‌کند. پس ریختارها می‌توانند به عنوان توابع یا نگاشت‌ها بین اشیاء در نظر گرفته شوند که دارای شرایط زیر هستند (شکل ۹).

۱- برای هر دو شیء A و B در یک رسته، یک ریختار $f: A \rightarrow B$ وجود دارد.

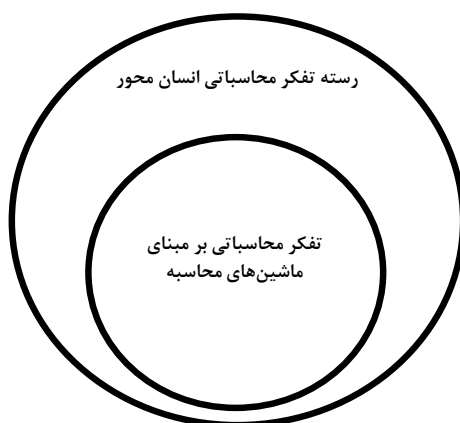
۲- اگر $f: A \rightarrow B$ و $g: B \rightarrow C$ دو ریختار باشند، می‌توان آن‌ها را ترکیب کرد تا یک ریختار جدید مانند $g \circ f: A \rightarrow C$ ایجاد کرد. این رویکرد می‌تواند به ما کمک کند تا روابط میان اجزاء را بهتر درک کنیم و ارتباط آن‌ها را به صورت ساختاری تحلیل کنیم.

در بررسی تفکر محاسباتی از دیدگاه رسته‌ای، مؤلفه‌های تفکر محاسباتی به عنوان اشیاء در نظر گرفته می‌شوند.

برای مثال: اگر انتزاع ($A1$)، تجزیه و تحلیل ($A2$)، الگوریتم ($A3$)، اشکال زدایی ($A4$)، اتوماسیون ($A5$)، تعمیم ($A6$) را اشیاء

تفکر محاسباتی انسان محور هدف به اختیار در آوردن ماشین‌های محاسبه‌گر در جهت کمک به افراد برای حل مسأله است و این ماشین محاسبه‌گر است که باید در اختیار انسان باشد. در حالی که تفکر محاسباتی ماشین محور می‌کوشد افراد را به گونه‌ای آموزش دهد که بتوانند به مانند یک ماشین محاسبه‌گر رفتار کنند. این امر در ادامه می‌تواند به عنوان یک عامل محدود کننده در توانایی ذهن انسان در حل مسائل متنوع خود نمایی کند. ذهن انسان به عنوان یک عامل هوشمند محاسبه‌گر، از نظر توانایی محاسباتی، محاسبه ناپذیر است در حالی که هر ماشین محاسبه‌گر از این منظر، محاسبه پذیر و دارای توانایی‌های محدود است (شکل ۱۰).

تفکر به جای تمرکز صرف بر فناوری، نیازها و محدودیت‌های ابزار محاسبه‌گر و انسان را در نظر می‌گیرد و راه‌حل‌هایی ارائه می‌دهد که برای کاربران قابل درک و استفاده باشند. با حضور انسان در فرآیند حل مسأله، خطاهای احتمالی ناشی از محدودیت‌های الگوریتم‌ها یا داده‌های ناقص کاهش می‌یابد. این ترکیب به طراحی محصولاتی مانند هوش مصنوعی کمک می‌کند که به واقع نیازهای انسان‌ها را در نظر می‌گیرند و به بهبود کیفیت زندگی کمک می‌کنند. با گسترش دامنه کاربردی تفکر محاسباتی با رویکرد انسان محوری، این نوع تفکر در ارتباط انسان با سایر علوم از جمله علوم انسانی، با نگاه منطقی و الگوریتمی حضور گسترده‌تری پیدا می‌کند. در



شکل ۱۰: ارتباط میان رسته تفکر محاسباتی انسان محور با تفکر محاسباتی بر مبنای ماشین‌های محاسبه.

کاربرد دارند. او توضیح داد که چگونه عبارات ریاضی می‌توانند به صورت نمادی کدگذاری شوند. علاوه بر این، گودل بر تفکر انتقادی و تحلیل عمیق مسائل ریاضی و منطقی تأکید داشت. این رویکرد شامل تجزیه و تحلیل مسائل و یافتن راه‌حل‌های منطقی است که از عناصر کلیدی تفکر محاسباتی محسوب می‌شوند. به طور کلی، اگرچه گودل به طور خاص به مفهوم تفکر محاسباتی نپرداخته است، اما آثار او تأثیر عمیقی بر درک ما از محدودیت‌های محاسبات و منطق داشته و به توسعه این مفهوم کمک کرده است.

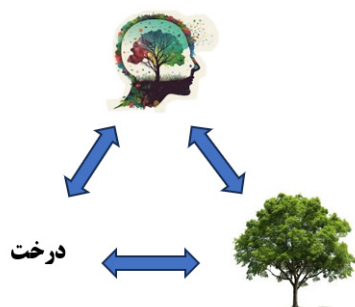
۷. روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی (خارج) در تفکر منطقی و تفکر محاسباتی

درک روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی در تفکر منطقی و تفکر محاسباتی به بهبود فرآیندهای شناختی و ادراک ما از مسائل پیرامون می‌شود. ذهن به عنوان اساسی‌ترین عامل در تفکر منطقی و تفکر محاسباتی نقش دارد. در منطق، مفهوم، لفظ و مصداق مطابق با شکل ۱۱ دو به دو در ارتباط هستند. وظیفه منطق، برقراری رابطه درست میان آن‌ها و رفع خطا در اندیشه است. تفکر منطقی به فرایند تحلیل اطلاعات و استدلال برای رسیدن

کورت گودل^۱ فردی است که می‌توان به عنوان مثالی از تفکر محاسباتی انسان محور به او اشاره کرد. کارهای گودل در زمینه منطق و نظریه محاسبات تأثیر زیادی بر علوم کامپیوتر مدرن داشته است. او نشان داد که یک سیستم منطقی ممکن است دچار ناتمامیت یا سازگاری نباشد. این نکته به ویژه در بررسی‌های او در خصوص نظریه‌های ناتمامیت و قضایای مربوط به آن، چالش‌های اساسی در حوزه محاسبات و قابلیت محاسبه را مطرح می‌سازد. قضیه ناتمامیت گودل یکی از مهم‌ترین دستاوردهای اوست که بیان می‌کند در هر سیستم منطقی، برخی حقایق وجود دارند که نمی‌توان آن‌ها را با قواعد و اصول موجود در آن سیستم اثبات کرد. این قضیه به محدودیت‌های محاسبات و توانایی الگوریتم‌ها در حل مسائل اشاره دارد و درک عمیق‌تری از طبیعت ریاضی ارائه می‌دهد. گودل همچنین به ارتباط بین زبان‌های رسمی و محاسبات توجه داشت. ارتباط میان زبان‌های رسمی و محاسبات به تئوری‌ها و روش‌هایی اشاره دارد که در آن‌ها زبان‌های رسمی و سیستم‌های محاسباتی به هم مرتبط می‌شوند. زبان‌های رسمی، مانند زبان‌های منطقی، قواعد مشخصی دارند که برای توصیف زبان‌های انسانی یا زبان‌ها و الگوریتم‌های موجود در علم رایانه

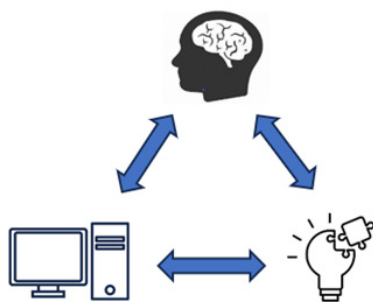
1. Kurt Godel

وقتی از شجره نامه یک خانواده سخن می گوئیم، به کمک منطق متوجه می شویم که منظور از شجره گیاه نیست.



شکل ۱۱: روابط میان ذهن، لفظ و مصداق در تفکر منطقی.

محاسباتی (انتزاع، تجزیه و تحلیل، الگوریتم، اشکال زدایی و تعمیم) جهت مواجهه و حل مسائل دنیای واقعی از تفکر منطقی برای برقراری ارتباط میان «مفهوم و لفظ» و «مفهوم و مصداق» استفاده می کند.

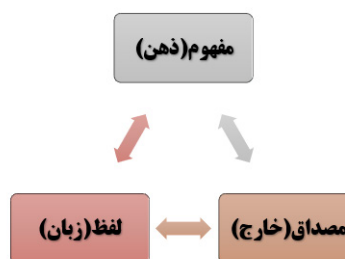


شکل ۱۲: روابط میان ذهن، ابزار هوشمند و مسائل دنیای واقعی در تفکر محاسباتی.

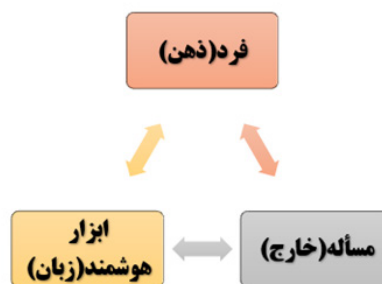
منطقی بهره می برد. استدلال های منطقی می توانند به طراحی الگوریتم های مؤثر کمک کنند. در تفکر محاسباتی، زبان ابزاری برای بیان الگوریتم ها و فرآیندهای محاسباتی است. در تفکر محاسباتی ماشین محور، زبان های برنامه نویسی و نمادهای ریاضی به ما این امکان را می دهند که فرایندهای محاسباتی را به صورت دقیق و قابل فهم برای ماشین ها بیان کنیم.

آگاهی از نحوه عملکرد ذهن و توانایی های آن مسأله ای است که در طول تاریخ همواره مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. هگل^۱ از جمله افرادی است که در این زمینه به مطالعه و تحقیق پرداخته است. او در کتاب پدیدارشناسی روح، به بررسی سیر تکامل آگاهی انسان از ساده ترین شکل های ادراک تا رسیدن به آگاهی مطلق می پردازد. هگل در این اثر، تاریخ نگاری آگاهی را به عنوان فرآیندی دیالکتیکی و تکاملی ترسیم می کند که در آن آگاهی از طریق تضادها و تعارض ها به سمت تکامل پیش می رود. او بیان می دارد که مفهوم دیالکتیک شامل سه مرحله تر، آنتی تر

به نتیجه گیری های معتبر اشاره دارد. به عنوان مثال، زمانی که صحبت از درخت می شود در ذهن ما یک گیاه متبادر می شود ولی



وظیفه برقراری ارتباط صحیح میان سه جزء ذهن، ابزار هوشمند و مسائل دنیای واقعی بر عهده تفکر محاسباتی است. این ارتباط در شکل ۱۲ نشان داده شده است. انسان با ذهن خود در مراحل مختلف تفکر



این ذهن آدمی است که مسائل دنیای واقعی را دریافت و انتزاع می کند و پس از تجزیه و تحلیل به ایجاد الگوریتم های منطقی دست می زند. سپس در صورت امکان الگوریتم ها را به ابزار محاسبه گر می دهد و به اشکال زدایی و اصلاح الگوریتم ها اقدام می کند. در پایان نتیجه به دست آمده را ارزیابی کرده و به یادگیری و حل مسائل مشابه و جدید می پردازد. این رویکرد نشان می دهد که تفکر محاسباتی انسان محور مشتمل بر تفکر منطقی است.

در تفکر منطقی، ذهن انسان مسئولیت تحلیل و پردازش اطلاعات را دارد و استدلال های منطقی را تولید می کند. این فرایند شامل استفاده از قواعد منطقی و استدلال های معتبر پیشین است. برای آن که تفکر منطقی به خروجی های معتبر داشته باشد، استدلال ها باید بر اساس مشاهدات و داده های واقعی بنا شوند. در تفکر منطقی زبان وظیفه بیان و انتقال استدلال ها و تفکرات را دارد. ساختارهای زبانی به شکل گیری استدلال های منطقی معتبر کمک می کنند.

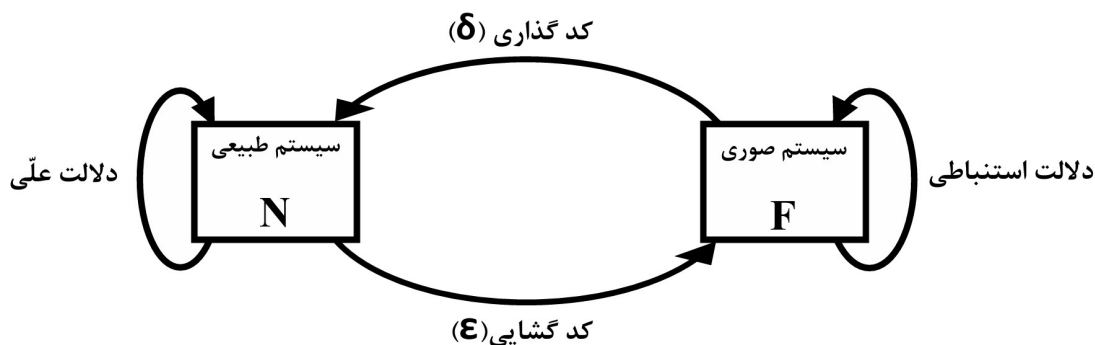
تفکر محاسباتی برای حل مسائل پیچیده از الگوریتم ها و روش های

انسان محور با مسائل دنیای واقعی به کاربرد آن در زمینه زیست‌شناسی اشاره می‌کنیم. زیست‌شناسی در چند دهه اخیر به طور گسترده از ریاضیات و تفکر محاسباتی بهره برده است. زیست‌شناسی محاسباتی و سیستمی می‌تواند تأثیر زیادی بر آینده این علم داشته باشد. موتور محرک زیست‌شناسی محاسباتی، همگرایی علوم کامپیوتر و علوم زیستی است [۳۸]. استفاده از مدل‌سازی برای درک و بررسی سیستم‌های زیستی پیچیده در زمینه‌های گوناگون مانند پزشکی، مهندسی ژنتیک و محیط‌زیست در زیست‌شناسی امری رایج است. مفهوم مدل‌سازی به فرآیند تبدیل یک سیستم طبیعی (مانند یک موجود زنده یا یک پدیده طبیعی) به یک مدل ریاضی و سوری اشاره دارد (شکل ۱۳). این مدل‌ها به ما کمک می‌کنند تا رفتار سیستم‌ها را پیش‌بینی کنیم و آن‌ها را بهتر درک کنیم.

و سنتز است که نشان‌دهنده پیشرفت آگاهی از طریق تضادها و تنش‌هاست. در این فرآیند، خودآگاهی از طریق تعامل با دیگران و شناخت دیگری به وجود می‌آید. در نهایت، هگل به مفهوم آگاهی مطلق می‌رسد که نمایانگر تحقق کامل آگاهی و شناخت است و به معنای هم‌سویی فرد با کل حقیقت و واقعیت می‌باشد. تجربیات انسانی از جمله تاریخ، فرهنگ و هنر، نقش مهمی در شکل‌گیری این آگاهی دارند. فرآیند حل مسئله به ویژه در مباحث ریاضی یک نمونه عملی از نظریات هگل درباره آگاهی و دیالکتیک است که در آن فرد از طریق تعامل با چالش‌ها و تجربیات، به درک عمیق‌تری از مفاهیم و راه‌حل‌ها دست می‌یابد.

۸. ارتباط میان رشته تفکر محاسباتی با زیست‌شناسی

در این بخش به عنوان مثالی عملی از ارتباط رشته تفکر محاسباتی



شکل ۱۳: مدل سازی یک فرایند زیستی.

ریاضی‌دان برجسته‌ای بود که به خاطر کارهای پیشگامانه‌اش در زمینه زیست‌شناسی نظری شناخته شده است. او به عنوان یکی از بنیان‌گذاران آنچه که اکنون «زیست‌شناسی رابطه‌ای» نامیده می‌شود، شناخته می‌شود. زیست‌شناسی رابطه‌ای بر اهمیت روابط و تعاملات در سیستم‌های زیستی تأکید دارد. راشفسکی اصول ریاضی را به مسائل زیستی اعمال کرد و به ایجاد چارچوبی کمی برای درک فرآیندهای زیستی کمک کرد [۱, ۳۹]. او در زمینه بیوفیزیک و زیست‌شناسی ریاضی به بررسی الگوهای ریاضی در زیست‌شناسی پرداخت و با استفاده از مدل‌های ریاضی، رفتار و ویژگی‌های سیستم‌های زیستی را توضیح داد. این موضوع به پژوهشگران کمک کرد تا پیش‌بینی‌هایی درباره رفتار موجودات زنده و تعاملات آن‌ها با محیط انجام دهند. او نظریه سیستم‌ها را برای تحلیل سیستم‌های پیچیده و تعاملات درون آن‌ها معرفی کرد. کارهای راشفسکی به توسعه زمینه‌های جدید مانند زیست‌شناسی سیستم‌ها و زیست‌شناسی محاسباتی کمک کرد که در ادامه به تجزیه و تحلیل سیستم‌های زیستی و درک بهتر عملکرد آن‌ها در

فرآیندهای کدگذاری و کدگشایی پل ارتباطی سیستم‌های طبیعی و سیستم‌های سوری در مدل‌سازی پدیده‌های زیستی است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌کنیم.

کدگذاری (ε): این فرآیند شامل تبدیل ویژگی‌های یک سیستم طبیعی به ویژگی‌های یک سیستم ریاضی است. به عنوان مثال، می‌توانیم رفتار یک موجود زنده را به معادلات ریاضی تبدیل کنیم کدگشایی (δ): این فرآیند معکوس کدگذاری است و به ما اجازه می‌دهد تا از مدل ریاضی به ویژگی‌های واقعی سیستم طبیعی بازگردیم.

این فرآیندها توسط انسان به کمک توانایی‌های ذهنی و استفاده از تفکر محاسباتی انجام می‌پذیرد. ماشین محاسبه‌گر در انجام این کار نقش یاری‌رسان را دارد.

راشفسکی^۱، روزن^۲ و لویی^۳ از جمله محققانی هستند که در زمینه مدل‌سازی پدیده‌های زیستی تحقیقات قابل توجهی انجام داده‌اند. نیکولاس راشفسکی (۱۸۹۹-۱۹۷۲) بیوفیزیک‌دان و

معانی ثابت ذاتی، توسط تعاملات بین بازیگران در شبکه های متنوع شکل می گیرند.



شکل ۱۴: تاثیر متقابل انسان، تکنولوژی و مسئله بر یکدیگر.

در سیستم مورد نظر در این بخش که متشکل از فرد (عامل انسانی) و ماشین محاسبه گر (عامل غیر انسانی) و مسائل دنیای واقعی می باشد، روابط بین اجزاء با توجه به شرایط مختلف به طور دائم در حال تغییر است. انسان در طول تاریخ با توجه به نیازها و در نظر گرفتن اقتضاعات زمانی و مکانی به انتزاع از مسائل دنیای واقعی پرداخته است و در کنشگری با دنیای واقعی به سطح آگاهی بالاتر دست یافته است. ماحصل این کنشگری ها و آگاهی های به دست آمده تکنولوژی است. پس از به وجود آمدن تکنولوژی و تغییر دینامیک حاکم بر روابط انسان و دنیای واقعی، تکنولوژی به عنوان یک عامل کنشگر در سیستم مورد نظر و ارتباطات میان اجزای آن تاثیر گذاشته و به طور متقابل تاثیر می پذیرد. این تغییر در هر یک از اجزا به تغییر در نحوه ساختار و ارتباط سایر اجزا منتج می گردد و بدین سان شبکه های متنوعی از روابط ایجاد می شود.

با توجه به این که هر تکنولوژی برای حل مسائل در حوزه مشخص کاربرد دارد، موجودیت و پیشرفت هر مجموعه تکنولوژیک وابسته به انسان و توانایی تفکر او است. در تعاملات اجزای سیستم، توجه به وزن اثرگذاری هر یک از اجزا در نحوه عملکرد کلی سیستم امری مهم است. برقراری تعادل مناسب میان انسان، مسئله و تکنولوژی همواره به صورت یک چالش مطرح بوده است. ذهن با استفاده از تفکر محاسباتی انسان محور به تجزیه و تحلیل روابط پرداخته و به جهت دهی هدفمند عملکرد سیستم برای رسیدن به اهداف نظارت دارد.

در طول تاریخ حس کنجکاوی و علاقه بشر به یادگیری باعث گردیده تا با روش های مبتکرانه و بعضاً شگفت انگیز به مواجهه با مسائل بپردازد. در ابتدا انسان ها با استفاده از ابزارهای ساده توانستند به شکار و کشاورزی بپردازند. این ابزارها به افزایش تولید غذا و بهبود شرایط زندگی که مهم ترین مسائل پیش روی بشر بودند، کمک کردند. سیستم آبیاری مورد استفاده در شوشتر و یا استفاده

مقیاس های مختلف انجامید [۱].

رابرت روزن (۱۹۹۸-۱۹۳۴) در زمینه مدل سازی زیستی به توسعه فهم ما از سیستم های پیچیده و دینامیک موجودات زنده کمک کرد. دینامیک موجودات زنده به مطالعه و تحلیل رفتار و تعاملات داخلی و خارجی موجودات زنده و چگونگی عملکرد آنها در سیستم های پیچیده اشاره دارد. این مفهوم به بررسی تغییرات در شرایط موجودات زنده از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در گذر زمان می پردازد. روزن بر این باور بود که موجودات زنده به عنوان سیستم های پیچیده ای عمل می کنند که اجزایشان مانند سلول ها و بافت ها به طور متقابل با یکدیگر تعامل دارند. برای توصیف این تعاملات، روزن از مدل های ریاضی شامل معادلات دیفرانسیل و الگوریتم های شبیه سازی استفاده کرد که به پژوهشگران کمک می کند تا رفتار این سیستم ها را پیش بینی کنند. او همچنین مفهوم پیش بینی را معرفی کرد و نشان داد که موجودات زنده می توانند با استفاده از اطلاعات موجود، رفتار آینده خود را تنظیم کنند. از نظر رابرت روزن، پیش بینی به معنای استفاده از مدل های ریاضی یا مفهومی برای پیش گویی رفتار یا نتایج آینده یک سیستم است. او به بررسی پیچیدگی و فرآیندهای خودسازمان دهی در سیستم های زیستی پرداخته است. از نظر او، خودسازمان دهی فرآیندی کلیدی در سیستم های زیستی است که به آنها اجازه می دهد بدون نیاز به کنترل خارجی، ساختارها و رفتارهای پیچیده را ایجاد کنند. این فرآیند ناشی از تعاملات داخلی و پیچیدگی ذاتی سیستم های زنده است و یکی از ویژگی های اساسی آنها محسوب می شود. نظریه جامع او به پژوهشگران ابزارهای جدیدی برای تحقیق در زمینه سیستم های پیچیده ارائه داد و به توسعه رشته های مختلفی از جمله زیست شناسی نظری و فلسفه علم کمک کرد [۴۵-۴۱، ۲۷].

آرتور هوئی لویی از دیگر محققان برجسته در زمینه زیست شناسی و مدل سازی بیولوژیکی است. او به توسعه مدل های ریاضی برای درک فرآیندهای بیولوژیکی، مدل سازی اکولوژیکی و ترویج نظریه سیستم ها پرداخته است. لویی بر ویژگی های کلیدی موجودات زنده مانند تغییر و تکامل، تعاملات اکولوژیکی، تولید مثل، پاسخ به محرک ها، ساختار سلولی، متابولیسم و تنوع ژنتیکی تأکید دارد [۲۸]. کارهای او به پژوهشگران کمک کرده تا رفتار سیستم های زیستی و تعاملات آنها را بهتر درک کنند.

۹. اثرات متقابل بین فرد، مسئله و تکنولوژی

در نگاهی جامع سه عامل فرد، تکنولوژی و مسئله به صورت اجزای یک سیستم کلی، با یکدیگر تعامل دارند و از یکدیگر تاثیر می پذیرند (شکل ۱۴). نظریه شبکه کنشگر بیان می کند که بازیگران انسانی و غیر انسانی، شبکه های متغیری از روابط را تشکیل می دهند که موقعیت ها را تعریف و نتایج را تعیین می کنند [۴۵، ۱۵، ۴]. جامعه و اجزای آن در این رویکرد ساخت گرا به جای داشتن ساختارها یا

هوش مصنوعی با پیشرفت الگوریتم‌ها و افزایش قدرت پردازش سیستم‌های محاسبه‌گر به ابزاری مؤثر در انجام فعالیت‌های مختلف تبدیل شده است. مباحث مرتبط با یادگیری ماشین از جنبه‌های شاخص در بحث هوش مصنوعی هستند. یادگیری ماشین به ابزارهای هوشمند محاسبه‌گر این امکان را می‌دهد که عملکردشان به مرور زمان و با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، بهبود یابد [۹]. در سال‌های اخیر و با رشد فزاینده هوش مصنوعی، ارتباط و تعامل آن با تفکر محاسباتی رشد فزاینده‌ای داشته است [۱۸]. در آموزش مدل‌های هوش مصنوعی توانایی تحلیل داده‌ها و شناسایی الگوها که از لوازم اصلی در تفکر محاسباتی هستند نقش بسیار ضروری و حیاتی دارند.

مطابق آنچه در قسمت قبل بیان شد، تفکر محاسباتی انسان محور عامل به وجود آورنده هوش مصنوعی (تکنولوژی) است. تفکر محاسباتی انسان محور در جهت رفع محدودیت‌های تکنولوژی هوش مصنوعی به عنوان یک ضرورت برای توسعه و بهبود الگوریتم‌های آن به حساب می‌آید. لذا افراد با توانایی تفکر محاسباتی به صورت مؤثرتری می‌توانند مسائل را تجزیه و تحلیل کنند و راه‌حل‌های بهتری برای رشد و توسعه هوش مصنوعی ارائه دهند.

از طرفی ویژگی کنشگری هوش مصنوعی به تقویت و تسهیل فرآیند تفکر محاسباتی کمک می‌کند. سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به افراد در حل مسائل پیچیده کمک کنند و به آن‌ها ابزارهایی ارائه دهند که باعث افزایش کارایی و دقت در فرآیندهای حل مسئله به کمک تفکر محاسباتی گردد. به عنوان مثال، نرم‌افزارهای هوش مصنوعی می‌توانند در شناسایی الگوها و تحلیل داده‌ها به افراد کمک کنند. هوش مصنوعی دستاورد تفکر محاسباتی انسان محور و نمود بارز توانایی بشر در خلق ابزارهایی است که می‌تواند از آن‌ها در حل مسائل استفاده کرده و برای پیشرفت توانایی‌هایش بهره‌بردار.

در نهایت، ارتباط متقابل هوش مصنوعی و تفکر محاسباتی نشان‌دهنده اهمیت و تأثیر این دو حوزه بر یکدیگر است. با توجه به پیشرفت‌های روزافزون در فناوری، درک و بهره‌برداری از این ارتباط می‌تواند به بهبود فرآیندهای یادگیری، حل مسائل و توسعه فناوری‌های نوین منجر شود.

۱۱. تفکر محاسباتی، آموزش و جامعه آگاه

توسعه مهارت‌ها و توانایی‌های افراد به ویژه دانش‌آموزان در طراحی راه‌حل‌های محاسباتی، تفکر الگوریتمی، کدنویسی و بهره‌برداری از ابزارهای هوشمند و محاسباتی برای حل مسائل، امری ضروری به نظر می‌رسد [۲۶]. تفکر محاسباتی یکی از نیازهای اساسی برای جامعه‌ای هوشمند و کارآمد به حساب می‌آید. در حالی که تفکر محاسباتی انسان محور به توسعه فردی و اجتماعی منجر می‌شود؛

از قنات برای تأمین آب در مناطق کویری از نمونه‌های جالب توجه اقدامات بشر برای مرتفع ساختن نیازهای خود در کشاورزی است. در قرن‌های ۱۸ و ۱۹ با اختراع ماشین بخار توسط جیمز وات و ظهور انقلاب صنعتی، تغییرات عمده‌ای در ساختار اقتصادی و اجتماعی جوامع پدیدار شد. ماشین‌آلات جدید به تولید انبوه و کارآمدی بیشتر منجر شدند. در ادامه اختراعاتی مانند ماشین چاپ و دستگاه تلگراف به گسترش اطلاعات و ارتباطات کمک کردند. این تحولات باعث شکل‌گیری جنبش‌های اجتماعی و فرهنگی جدیدی شدند. امروزه با ظهور اینترنت و تکنولوژی‌های دیجیتال، نحوه ارتباطات و دسترسی به اطلاعات به طرز چشمگیری تغییر کرده است. در حالی که این تغییرات به تسهیل یادگیری و تبادل اطلاعات کمک بسیاری کرده‌اند به موازات آن باعث بروز مسائلی پیرامون حریم خصوصی و امنیت داده‌ها شده‌اند. در حالی که اتوماسیون و هوش مصنوعی به تغییرات عمده‌ای در بازار کار منجر شده‌اند، برخی مشاغل از بین رفته و مشاغل جدیدی ایجاد شده‌اند که نیاز به مهارت‌های فنی و دیجیتالی ویژه‌ای دارند. این تغییرات به نابرابری‌های اقتصادی و اجتماعی دامن زده‌اند. از طرفی استفاده مفرط از تکنولوژی‌های دیجیتال به مشکلاتی مانند اضطراب، افسردگی و انزوای منجر شده است. پیشرفت‌های آینده در زمینه‌هایی مانند هوش مصنوعی، بیوتکنولوژی و رباتیک می‌تواند به تغییرات عمده‌ای در زندگی انسان‌ها منجر شود [۳۷]. این تکنولوژی‌ها می‌توانند به بهبود کیفیت زندگی و حل مسائل جهانی مانند بیماری‌ها و تغییرات اقلیمی کمک کنند.

ایجاد تعامل مناسب میان انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی، مستلزم شناخت کافی و درست از اکوسیستم حاصل از آن‌ها است؛ تحقق کارکرد مناسب این اکوسیستم زمانی حاصل می‌شود که هر یک از اجزاء بدون داشتن خلل و مشکل در ساختار درونی، به عنوان یک جزء مستقل دارای کارکرد مناسب در کل مجموعه باشند.

۱۰. تفکر محاسباتی و هوش مصنوعی

تفکر محاسباتی انسان محور در کنار انجام وظیفه ذاتی خود در جهت حل مسئله، در مواقع لزوم از ابزار محاسبه‌گر (تکنولوژی) بهره می‌گیرد. اهمیت این کار در این است که ابزار محاسبه‌گر در انجام وظایفی مانند محاسبات ریاضی، ذخیره حجم بزرگی از داده‌ها و تکرار دقیق دستورات از انسان بهتر عمل می‌کنند. در سوی مقابل در زمینه درک تعاملات اجتماعی، اتخاذ تصمیمات از یک دیدگاه کل‌نگر و برخورد با موقعیت‌های مبهم، عملکرد انسان بهتر از ابزارهای هوشمند محاسبه‌گر است. در نتیجه با ترکیب قابلیت‌های ذکر شده می‌توانیم در حل مسائل به توانایی‌های بیشتری دست پیدا کنیم.

هوش مصنوعی به مجموعه‌ای از سیستم‌ها و نرم‌افزارها اطلاق می‌شود که رویکردی مشابه هوش انسانی دارند. این تشابهات شامل یادگیری، استدلال، حل مسئله و درک زبان طبیعی می‌باشند.

مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی بررسی تفکر محاسباتی از طریق نظریه رسته ها و دیدگاه انسان محوری کمک شایانی به آموزش تفکر محاسباتی برای حل مسائل دنیای واقعی و توسعه روش های آموزشی و یادگیری خواهد داشت. بدین منظور پژوهشی برای بررسی عوامل مؤثر در سطح و رشد تفکر محاسباتی و توانایی حل مسأله صورت پذیرفت. در این پژوهش با ارائه محتوای آموزشی و استفاده از یک محصول طراحی شده تحت عنوان (آزمایشگاه همراه ریاضی)^۱ به آموزش منطق ریاضی به کمک آزمایش های ساده و بدون استفاده از مباحث مرتبط با کد نویسی به افراد پرداخته شد. نتایج نشان دهنده رشد سطح مهارت های تفکر محاسباتی و توانایی حل مسأله افراد شرکت کننده در مطالعه بود [۵۵].

در آینده نزدیک، مباحث مرتبط با تفکر محاسباتی به طور فزاینده ای در برنامه های درسی کشورهای صنعتی و رشته های علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات گنجانده خواهد شد [۱۷،۴۹]. همچنین ابزارهای آموزشی آنلاین امکان یادگیری این مهارت را در هر زمان و مکانی فراهم خواهند کرد. استفاده از فناوری های پیشرفته نظیر واقعیت مجازی و افزوده برای شبیه سازی مسائل پیچیده و ایجاد تجربیات یادگیری تعاملی نیز نقش بسزایی در آموزش این مهارت خواهد داشت. در سایه گسترش هرچه بیشتر تفکر محاسباتی میان جوامع و توجه به اهمیت آن، این مهارت می تواند افراد را در توسعه مهارت های بین رشته ای یاری رسانده و آنان را قادر سازد تا مسائل پیچیده را در زمینه های مختلف حل کنند [۱۳،۵۰]. با آموزش تفکر محاسباتی به شیوه ای کاربردی و مؤثر به افراد، بسیاری از چالش های موجود در سیستم های آموزشی و نحوه تربیت نسل های آینده مرتفع خواهد شد. به عنوان مثال افزایش مهارت های حل مسأله، تسهیل یادگیری بین رشته ای، افزایش انگیزه و مشارکت در یادگیری و توسعه تفکر انتقادی و خلاقیت از مهم ترین عوامل اثر گذار در حل چالش های آموزش است [۸،۲۵،۲۶،۳۴]. آینده تفکر محاسباتی در آموزش به سمت گنجاندن آن در برنامه های درسی، استفاده از فناوری های نوین و توسعه مهارت های اجتماعی تعامل حوزه های تخصصی مختلف با یکدیگر حرکت خواهد کرد. پیاده سازی مؤثر این رویکرد می تواند کیفیت آموزش را ارتقا داده و افراد را برای آینده ای موفق آماده سازد [۱۲].

۱۲. بحث و نتیجه گیری

فناوری های مبتنی بر علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی در عصر حاضر به سرعت در حال توسعه هستند و بر فرآیندهای حل مسأله و زندگی اجتماعی افراد و جوامع تأثیر می گذارند. دنیا به سرعت به سمت استفاده از ادوات هوشمند حرکت می کند و ما در زندگی خود شاهد تشکیل یک اکوسیستم هوشمند در محیط اطرافمان

توسعه فردی و اجتماعی به رشد و بلوغ تفکر محاسباتی انسان محور کمک می کند. این کشمکش میان تفکر محاسباتی انسان محور و دنیای واقعی به صورت تکنولوژی نمود پیدا می کند و بازخورد تکنولوژی به دست آمده در قالب آموزش به خود انسان و محیط اجتماعی باز می گردد. لذا آموزش حاصل از این کشمکش ها می تواند به تربیت افراد آگاه و منطقی منجر شود. مطابق با آنچه پیش تر اشاره شد، طیف گسترده ای از افراد جامعه، از دانش آموزان و دانشجویان گرفته تا صاحبان مشاغل و کارآفرینان، می توانند از این مهارت بهره مند شوند [۲۰]. به همین دلیل در سال های اخیر تلاش های بسیاری برای ترویج اهمیت تفکر محاسباتی و نقش آن در بهبود توانایی های فردی و اجتماعی صورت گرفته است [۳،۷]. تفکر محاسباتی به علت ماهیت ذاتی خود با نظام آموزشی درهم تنیده شده است و تقریباً در تمامی حوزه ها اثری از خود بر جای می گذارد. با توجه به تحولات سریع فناوری و نیازهای روزافزون جامعه، نظام آموزش و پرورش به عنوان بزرگ ترین سیستم آموزش رسمی کشور می تواند به تفکر محاسباتی به عنوان یک مؤلفه کلیدی توجه ویژه داشته باشد. بسیاری از کشورها این مهارت را در سیستم های آموزشی رسمی و غیررسمی خود گنجانده اند به گونه ای که تفکر محاسباتی و کدنویسی به بخشی جدایی ناپذیر از برنامه های درسی آن ها تبدیل شده است [۲۴]. با این حال جای خالی آموزش مستقیم این مهارت در مباحث آموزشی به شدت احساس می شود [۳،۱۷]. عوامل متعددی بر سطح و رشد تفکر محاسباتی تأثیر گذارند که توجه به آن ها می تواند راه گشای طراحی برنامه های آموزشی مؤثر باشد [۲۱]. از جمله این عوامل می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تدوین سیاست های کلان آموزشی در راستای گسترش آموزش تفکر محاسباتی [۱۶].
- توسعه ابزارهای سخت افزاری و نرم افزاری [۱۶،۳۲].
- تربیت معلمان و مربیان متخصص [۱۹].
- تولید محتوای آموزشی مناسب.
- ایجاد بستر فرهنگی و اجتماعی مساعد [۶،۳۲].
- ارزشیابی مهارت های تفکر محاسباتی [۲۹،۴۰].

یکی از موانع اصلی در بهره گیری از تفکر محاسباتی در علوم مختلف، نوع نگرش افراد به این مهارت است [۳۲]. بسیاری بر این باورند که تفکر محاسباتی تنها در حوزه های علوم کامپیوتر و رشته های فنی و مهندسی کاربرد دارد و نمی توان از آن در سایر علوم نظیر علوم انسانی یا هنر استفاده کرد [۲۰]. هرچند نقش این مهارت در رشته های فنی و مهندسی برجسته تر است، اما تعریف انسان محور از تفکر محاسباتی نشان می دهد که این مهارت می تواند در تمامی زمینه ها از جمله علوم انسانی و اجتماعی

۱. تصمیم گیری در سیستم های هوشمند: یادگیری عملی و آسان منطق ریاضی به کمک آزمایش های ساده، تهیه شده توسط شرکت آینده سازان مبتکر پویا، دارای مجوز رسمی از وزارت آموزش و پرورش.

هستیم [۳۲]. تفکر محاسباتی به عنوان یک مهارت با ابعاد متنوع شامل انتزاع، تجزیه، الگوریتم، اتوماسیون، اشکال‌زدایی و تعمیم نه تنها در مباحث مرتبط با علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی دارای نقش اساسی است، بلکه در بسیاری از حوزه‌های دیگر از مصادیق پزشکی تا شبکه‌های اجتماعی کاربرد دارد. تفکر محاسباتی به ما کمک می‌کند تا پیچیدگی‌های دنیای مدرن را بهتر درک کنیم و در حل مسائل علمی، مهندسی و اجتماعی کارآمدتر عمل کنیم [۴۹]. علاوه بر موارد ذکر شده، تفکر محاسباتی به عنوان یک ابزار کلیدی در توسعه مهارت‌های حل مسئله و نوآوری در عصر دیجیتال اهمیت زیادی دارد. در سال‌های اخیر روش‌های علمی دانشمندان تحت تأثیر فزاینده علوم کامپیوتر قرار گرفته است. دانشمندان علوم طبیعی مدت‌هاست که آزمایش‌های محاسباتی را به عنوان پایه سوم روش علمی در کنار تئوری و آزمایش‌های تجربی قرار داده‌اند و تفکر محاسباتی را به عنوان یک موضوع ضروری و حیاتی در جهت انجام هرچه بهتر و کامل‌تر کارهای تحقیقاتی خود پذیرفته‌اند [۱۶]. این ضرورت به حدی فراگیر شده است که به جز پژوهشگران حوزه‌های علوم ریاضی، تجربی، محققان و نظریه‌پردازان علوم انسانی نیز به استفاده از آن پرداخته‌اند. در سال‌های اخیر، علاوه بر چهار مهارت اساسی قرن ۲۱ (تفکر انتقادی، خلاقیت، همکاری و ارتباطات)، تفکر محاسباتی به عنوان یکی دیگر از مهارت‌های اصلی مورد توجه ویژه قرار گرفته است [۱۰]. توجه به سیر تاریخی تفکر محاسباتی و منطقی نشان می‌دهد که در اعصار مختلف، انسان با استفاده از تفکر محاسباتی و منطقی، به تعامل با محیط اطراف و بهبود سطح زندگی خود اقدام کرده است. همچنین مشاهده کردیم که گستردگی زمینه‌های کاربردی تفکر محاسباتی سبب شده است که محققان از زوایای مختلفی به آن پرداخته و تعاریف متنوعی ارائه کنند. با این حال، یک وجه مشترک در تمامی این تعاریف وجود دارد. در تمامی آن‌ها تفکر محاسباتی به گونه‌ای تعریف می‌شود که در آن فرد باید آنچه در ذهن خود در رابطه با مسئله و راه حل انتزاع نموده است را به نحوی بیان کند که توسط ماشین محاسبه‌گر قابل دریافت باشد. این امر باعث به وجود آمدن یک محدودیت اساسی در حل مسائل خواهد بود. چرا که توانایی ذهن انسان که محاسبه ناپذیر است به توانایی ماشین محاسبه‌گر که محاسبه‌پذیر است، محدود می‌گردد. ما با افزودن دو مؤلفه اشکال‌زدایی و تعمیم به بهبود ساختار تفکر محاسباتی پرداخته‌ایم. در ادامه به بررسی تفکر محاسباتی با دیدگاه رسته‌ای (با مشخص کردن مؤلفه‌های اصلی و ارتباط میان آن‌ها)، برای حل مسائل در زمینه‌های علوم ریاضی، تجربی و انسانی پرداختیم. در ادامه به محدودیت‌های تفکر محاسباتی ماشین محور در چالش‌های علوم انسانی، پدیده‌های نو ظهور، تحلیل‌های اقتصادی و پدیده‌های اقلیمی توجه نمودیم. این مسائل به علل مختلف مانند پیچیدگی، کمبود داده‌ها و یا نیاز به ابزار محاسبه‌گر خاص که در دسترس همگان نیست، به سادگی قابل مدل‌سازی دقیق نیستند. در گامی رو به جلو، رسته تفکر

محاسباتی با رویکرد انسان محور را معرفی کردیم. این دیدگاه نوین به طور همزمان، ضمن بهره‌مندی از توانایی‌های ذهن انسان به عنوان یک ماشین محاسبه‌گر، مشتمل بر تفکر ماشین محور است. علاوه بر بهره‌مندی از ویژگی‌های مثبت این نوع از تفکر مانند افزایش توانایی حل مسئله و تقویت تفکر منطقی در حل مسائل دنیای واقعی، رابطه بین انسان هوشمند و ماشین محاسبه‌گر را به صورت ساختاری نظام‌مند و مشخص تعریف کردیم؛ بدین صورت که در تفکر محاسباتی انسان محور، این ماشین هوشمند است که در اختیار انسان قرار می‌گیرد و تمامی روابط و تعاملات میان انسان و ماشین هوشمند محاسبه‌گر، توسط ذهن انسان مدیریت می‌گردد. با این دیدگاه فرد به عنوان مهم‌ترین عامل در این ساختار به جایگاه خود واقف خواهد بود.

در بررسی تفکر محاسباتی و منطقی مشاهده کردیم که این دو نوع تفکر در حل مسائل و پردازش اطلاعات برای درک بهتر از چالش‌های دنیای واقعی دارای نقش اساسی هستند. نشان دادیم که تفکر منطقی از ملزومات تفکر محاسباتی است و تفکر محاسباتی انسان محور مشتمل بر تفکر منطقی است. همچنین عملکرد تفکر منطقی در مدیریت روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی را تشریح نموده و نقش آن را در رفع خطای اندیشه و ذهن بیان نمودیم. با بررسی روابط میان ذهن، ابزار هوشمند محاسبه‌گر و مسائل نشان دادیم که روح حاکم بر این روابط، تفکر محاسباتی انسان محور است. مجهز بودن به تفکر محاسباتی انسان محور نه تنها به آگاهی افراد از کل فرآیند حل مسئله منجر می‌شود بلکه به آن‌ها تسلط و مهارت لازم نسبت به انجام فعالیت‌های مورد نیاز را می‌بخشد. به همین دلایل افرادی که دارای صلاحیت‌های مرتبط با تفکر محاسباتی هستند در شناخت و حل مسائل به خوبی عمل می‌کنند. مشاهده کردیم که تعامل و کنشگری انسان با مسائل دنیای واقعی به ظهور تکنولوژی‌های متنوع منجر شده است. تکنولوژی، انسان و مسئله به عنوان اجزای یک سیستم کلی، تأثیرات عمیق و گسترده‌ای بر زندگی انسانی و ساختارهای اجتماعی دارند. بررسی سیر تاریخی زندگی بشر نشان می‌دهد که این اجزا به صورت متغیر و پویا با یکدیگر در ارتباط هستند و تغییر در هر یک از آن‌ها می‌تواند بر دیگر عوامل تأثیر بگذارد. ایجاد تعاملی سازنده میان انسان، تکنولوژی و مسئله مستلزم درک عمیق از روابط و تأثیرات متقابل آن‌ها است. این درک که توسط توانایی‌های ذهن و با کمک تفکر محاسباتی انسان محور حاصل می‌شود به ما یاری می‌رساند تا به حل مسائل پیچیده دنیای واقعی بپردازیم و از فرصت‌های جدید برای پیشرفت تکنولوژی بهره‌برداری کنیم.

هوش مصنوعی یکی از مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده بشر در سال‌های اخیر است که حاصل تفکر محاسباتی انسان محور می‌باشد. مقبولیت هوش مصنوعی به دلیل تشابه آن با عملکرد هوش انسانی است. به واقع هوش مصنوعی را می‌توان تلاش بشر

توسعه روش‌های آموزشی و یادگیری کمک شایانی خواهد کرد [۳۴]. در پایان تأکید اصلی بر این است که تمامی فعالیت‌های مرتبط در جهت افزایش سطح و رشد تفکر محاسباتی در میان افراد جامعه باید به گونه‌ای باشد که هدف تمامی آن فعالیت‌ها، ارتقای سطح زندگی انسان باشد [۵۴]. توجه به این امر مهم، راهنمای سودمندی است تا با یاری از آن نسبت به برنامه‌ریزی مدون و اصولی اقدام کنیم و به تقویت این مهارت در میان تمام سطوح افراد جامعه اقدام کنیم. همچنین لازم است این نکته را متذکر شویم که هدف نهایی نباید این باشد که به همه بیاموزیم مانند یک دانشمند کامپیوتر فکر کنند، بلکه باید به آن‌ها آموزش دهیم که از این مهارت برای حل مسائل و کشف سؤالات جدیدی استفاده کنند که می‌تواند در همه رشته‌های تحصیلی و جوانب مختلف زندگی استفاده شود [۵۴، ۱۱، ۸، ۶].

برای ایجاد شباهت بین تفکر ماشینی با تفکر انسانی در نظر گرفت کنشگری میان انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی در قالب آموزش به انسان و محیط اجتماعی بازخورد می‌یابد. این موضوع در دو جنبه شامل نحوه آموزش تکنولوژی‌های نوین به افراد و تأثیر تکنولوژی‌های نوین در فرآیند آموزش قابل مشاهده و بررسی است. با توجه به محدودیت‌های هر تکنولوژی در حل مسائل زمینه‌های مختلف، ذهن انسان با استفاده از تفکر محاسباتی انسان محور می‌تواند به این محدودیت‌ها فائق آمده و به حل مسائل در گستره وسیع‌تر بپردازد. همه موارد ذکر شده مستلزم این است که مهارت تفکر محاسباتی به روشی صحیح و مؤثر به افراد آموزش داده شود. ارتقاء کیفیت آموزش و تربیت افراد برای آینده‌ای موفق در زندگی روزمره و حرفه شغلی از نتایج پیاده‌سازی اصولی تفکر محاسباتی در آموزش می‌باشد [۱۰]. تجهیز افراد به توانایی تفکر محاسباتی، به

منابع

1. Abraham, T.H., 2004. Nicolas Rashevsky's mathematical biophysics. *Journal of the History of Biology*, 37(2), pp.333-385.
2. Aleksandrov, A. D., Kolmogorov, A. N., Lavrent'ev, M. A., 2012. *Mathematics: Its content, methods and meaning*. United States: Dover Publications.
3. Angeli, C. and Giannakos, M., 2020. Computational thinking education: Issues and challenges. *Computers in Human Behavior*, 105, pp.106-185.
4. Astrachan, O., Hambruch, S., Peckham, J. and Settle, A., 2009. The present and future of computational thinking. *ACM SIGCSE Bulletin*, 41(1), pp.549-550.
5. Barr, D., Harrison, J. and Conery, L., 2011. Computational thinking: A digital age skill for everyone. *Learning & Leading with Technology*, 38(6), pp.20-23.
6. Barr, V. and Stephenson, C., 2011. Bringing computational thinking to K-12: What is involved and what is the role of the computer science education community?. *ACM Inroads*, 2(1), pp.48-54.
7. Barcelos, T.S., Muñoz-Soto, R., Villarroel, R., Merino, E. and Silveira, I.F., 2018. Mathematics learning through computational thinking activities: A systematic literature review. *J. Univers. Comput. Sci.*, 24(7), pp.815-845.
8. Bers, M.U., Flannery, L., Kazakoff, E.R. and Sullivan, A., 2014. Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education*, 72, pp.145-157.
9. Brynjolfsson, E. and Mitchell, T., 2017. What can machine learning do? Work force implications. *Science*, 358, pp.1530-1534.
10. Buitrago-Flórez, F., Danies, G., Restrepo, S. and Hernández, C., 2021. Fostering 21st century competences through computational thinking and active learning: A mixed method study. *International Journal of Instruction*, 14(3), pp.737-754.
11. Cansu, F.K. and Cansu, S.K., 2019. An overview of computational thinking. *International Journal of Computer Science Education in Schools*, 3(1), pp.17-30.
12. Constantinou, V. and Ioannou, A., 2018. Development of computational thinking skills through educational robotics. *Education and Information Technologies*, 28(11), pp.14987-15009.
13. CSTA, & ISTE., 2011. Operational definition of computational thinking for k-12 education. Available at: www.iste.org. Last accessed: 2/27/2025.

14. Denning, P.J., 2009. The profession of IT beyond computational thinking. *Communications of the ACM*, 52(6), pp.28-30.
15. Denning, P. J. and Tedre, M., 2019. Computational thinking. United Kingdom: MIT Press.
16. Durak, H.Y. and Saritepeci, M., 2018. Analysis of the relation between computational thinking skills and various variables with the structural equation model. *Computers & Education*, 116, pp.191-202.
17. Furber, S., 2012. Shut down or restart. The way forward for computing in UK schools. London (UK): The Royal Society.
18. Gadanidis, G., 2017. Artificial intelligence, computational thinking, and mathematics education. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 34(2), pp.133-139.
19. Gadanidis, G., Cendros, R., Floyd, L. and Namukasa, I., 2017. Computational thinking in mathematics teacher education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 17(4), pp.458-477.
20. Grover, S. and Pea, R., 2018. Computational thinking: A competency whose time has come. *Computer Science Education: Perspectives on Teaching and Learning in School*, 19(1), pp.19-38.
21. Guggemos, J., 2021. On the predictors of computational thinking and its growth at the high-school level. *Computers & Education*, 161, p.104060.
22. Haseski, H.İ., İlic, U. and Tuğtekin, U., 2018. Defining a new 21st century skill-computational thinking: Concepts and trends. *International Education Studies*, 11(4), pp. 29-42.
23. Hemmendinger, D., 2010. A plea for modesty. *ACM Inroads*, 1(2), pp.4-7.
24. Hunsaker, E., 2020. Computational thinking. *The k–12 educational technology. handbook*, pp.130-156.
25. Ioannidou, A., Bennett, V., Repenning, A., Koh, K.H. and Basawapatna, A., 2011. Computational thinking patterns. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
26. Kong, S.C. and Abelson, H., 2019. Computational thinking education. Singapore: Springer Nature Singapore.
27. Leinster, T., 2014. Basic category theory. vol. 143. Cambridge University Press.
28. Louie, A.H., 2013. The reflection of life: Functional entailment and imminence in relational biology. Germany: Springer New York.
29. Maharani, S., Kholid, M.N., Pradana, L.N. and Nusantara, T., 2019. Problem solving in the context of computational thinking. *Infinity Journal*, 8(2), pp.109-116.
30. Merzbach, U. C., Boyer, C. B., 2011. A history of mathematics. United Kingdom: Wiley.
31. Mike, K., Ragonis, N., Rosenberg-Kima, R.B. and Hazzan, O., 2022. Computational thinking in the era of data science. *Communications of the ACM*, 65(8), pp.33-35.
32. Montiel, H. and Gomez-Zermeño, M.G., 2021. Educational challenges for computational thinking in k–12 education: A systematic literature review of “scratch” as an innovative programming tool. *Computers*, 10(6), p.69.
33. Nobel prize chemistry 2024, <https://www.nobelprize.org/uploads/10/2024/advanced-chemistryprize2024.pdf>. Last accessed: 10/31/2024.
34. Nouri, J., Zhang, L., Mannila, L. and Norén, E., 2020. Development of computational thinking, digital competence and 21st century skills when learning programming in k–9. *Education Inquiry*, 11(1), pp.1-17.
35. Özgür, H., 2020. Relationships between computational thinking skills, ways of thinking and demographic variables: A structural equation modeling. *International Journal of Research in Education and Science*, 6(2), pp.299-314.
36. Papert, S., 1980. Personal computing and its impact on education. *The Computer in the School: Tutor, tool, tutee*, pp.197-202.
37. Poli, R., 2017. Introduction to anticipation studies. Germany: Springer International Publishing.

38. Priami, C., 2007. Computational thinking in biology. Transactions on Computational Systems Biology VIII, pp. 63-76. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
39. Rashevsky, N., 1951. Mathematical biology of social behavior. University of Chicago Press.
40. Román-González, M., Pérez-González, J.C. and Jiménez-Fernández, C., 2017. Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the computational thinking test. Computers in Human Behavior, 72, pp.678-691.
41. Rosen, R., 1958. A relational theory of biological systems. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 20, pp.245-260.
42. Rosen, R., 1968. Turing's morphogens, two-factor systems and active transport. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 30, pp.493-499.
43. Rosen, R., 1972. Some relational cell models: the metabolism-repair systems. In: R. Rosen, ed. Foundations of Mathematical Biology. vol. 2. New York: Academic Press, 217-253.
44. Rosen, R., 1974. Planning, management, policies and strategies: four fuzzy concepts. International Journal of General Systems, 1, 245-252.
45. Rosen, R., 1985. Anticipatory systems. Oxford: Pergamon Press.
46. Rydeheard, D.E. and Burstall, R.M., 1988. Computational category theory. vol. 152. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
47. Schatz, M.C., 2012. Computational thinking in the era of big data biology. Genome Biology, 13, pp.1-3.
48. Simmons, H., 2011. An introduction to category theory. Cambridge University Press.
49. Swaid, S.I., 2015. Bringing computational thinking to STEM education. Procedia Manufacturing, 3, pp.3657-3662.
50. Swanson, H., Anton, G., Bain, C., Horn, M. and Wilensky, U., 2019. Introducing and assessing computational thinking in the secondary science classroom. Computational Thinking Education, pp.99-117.
51. Wing, J.M., 2006. Computational thinking. Communications of the ACM, 49(3), pp.33-35.
52. Wing, J., 2011. Research notebook: Computational thinking-What and why. The Link Magazine. 6, pp.20-23.
53. Wing, J.M., 2014. Computational thinking benefits society. 40th Anniversary Blog of Social Issues in Computing, p.26.
54. Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambruch, S. and Korb, J.T., 2014. Computational thinking in elementary and secondary teacher education. ACM Transactions on Computing Education (TOCE), 14(1), pp.1-16.
۵۵. اسدی لمعه‌دشت، نقی. (۱۴۰۳). رویکرد هندسی داده محور برای تشخیص الگوهای مؤثر بر تفکر محاسباتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
۵۶. ابن سینا، حسین بن عبدالله. (۱۳۸۳). رساله منطق دانشنامه علائی. (تصحیح معین، محمد؛ مشکوه، محمد). تهران: انتشارات انجمن آثار و مفاخر فرهنگی.
۵۷. جمشیدی، آرتا امیر؛ اسدی لمعه‌دشت، نقی. (۱۴۰۳). نگرشی نوین به تفکر محاسباتی و هوش مصنوعی در آموزش ریاضی. ۵۵ امین کنفرانس ریاضی ایران. مشهد. صص. ۹۵-۹۹.
۵۸. زارع پور، محمد صالح؛ حجتی، محمدعلی. (۱۳۸۹). نقد سه استدلال گودلی در فلسفه ذهن، حکمت و فلسفه. سال ششم. شماره ۲۱. صص. ۳۳-۴۷.
۵۹. سارتن، جرج. (۱۳۸۸). مقدمه بر تاریخ علم. (ترجمه صدری افشار، غلامحسین). تهران: انتشارات علمی و فرهنگی.
۶۰. فارابی، محمد بن محمد. (۱۳۶۲). *الألفاظ المستعملة فی المنطق*. (تصحیح و تعلیق مهدی، محسن). تهران: انتشارات مکتبه الزهراء.
۶۱. موسی وند، محسن. (۱۳۸۷). *منطق فارابی (نیم‌نگاهی به کتاب المنطق عند الفارابی)*. کتاب ماه فلسفه. شماره ۱۷. صص. ۱۶-۲۲.
۶۲. نبوی، لطفاله. (۱۳۸۹). منطق سینوی، ابداعات و نوآوری‌ها. نشریه مشکوه النور. دوره ۱۴. شماره ۴۳. صص. ۲۴-۵۰.