

بناام خدا



## سیستم‌های جمعی

تهیه شده توسط جعفر محمدی

پائیز ۸۹

## چکیده

این گزارش به بررسی سیستم‌های جمعی به عنوان رویکردی برای حل برخی از مسائل ناتمام علوم کامپیوتر می‌پردازد. در فصل اول این مستند به ناتمامیت علوم و به ویژه علوم کامپیوتر خواهیم پرداخت و اینکه چرا کامپیوترها هرگز قادر نخواهند بود که تعدادی از مسائل را حل کنند. در فصل دوم به بررسی خود این مسائل و دسته‌بندی آنها می‌پردازیم. فصل سوم به معرفی جمع‌سپاری و قدرت اطلاعاتی شبکه‌های جمعی می‌پردازد. فصل چهارم نیز به معرفی سیستم‌های جمعی به عنوان رویکردی برای حل برخی از مسائل ناتمام حوزه علوم کامپیوتر با استفاده از شبکه‌های جمعی می‌پردازد.

# فهرست مطالب

۲	۱	ناتمامیت علم کامپیوتر
۲	۱.۱	قضایای ناتمامیت گودل
۳	۱.۲	مساله توقف تورینگ
۴	۱.۳	ثابت‌های امگا
۵	۱.۴	جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۷	۲	مسائل ناتمام علوم کامپیوتر
۷	۲.۱	پایگاه داده حس عام
۸	۲.۲	دسته‌بندی مسائل ناتمام
۹	۲.۳	جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۱۰	۳	جمع‌سپاری
۱۰	۳.۱	تعریف جمع‌سپاری
۱۱	۳.۲	کاربردهای جمع‌سپاری
۱۳	۳.۳	جمع‌سپاری و استخراج دانش
۱۴	۳.۴	جمع‌سپاری هوشمند
۱۵	۳.۵	جمع‌بندی
۱۶	۴	سیستم‌های جمعی
۱۷	۴.۱	پیش‌زمینه‌ها
۱۷	۴.۲	معرفی رویکرد
۱۹	۴.۳	جمع‌بندی

## فصل ۱

# ناتمامیت علم کامپیوتر

بدون ریاضی نمی‌توانیم بطور عمیق در فلسفه رسوخ کنیم. بدون فلسفه نمی‌توانیم بطور عمیق در ریاضیات رسوخ کنیم. و بدون هر دو نمی‌توانیم بطور عمیق در هیچ چیزی رسوخ کنیم. «لایبنیتز»

در این فصل می‌خواهیم به بررسی ناتمامیت علوم و بخصوص علوم کامپیوتر بپردازیم. سوالاتی نظیر اینکه آیا علم قادر به پاسخگویی به تمامی سوالات بشر می‌باشد؟ آیا کامپیوترها قادر هستند هر مساله‌ای را که به آنها داده می‌شود حل کنند؟ آیا می‌توان یک ماشین هوشمند ساخت که معادل ذهن انسان عمل کند؟ و ... در این مبحث می‌گنجند.

در این فصل ابتدا به بررسی قضایای ناتمامیت گودل می‌پردازیم. سپس مساله توقف تورینگ و حالت عمومی‌تر آن، قضیه رایس، را بررسی می‌کنیم. در بخش سوم نیز به معرفی ثابت‌های امگا می‌پردازیم که چالش‌های بزرگی را برای علم بوجود آوردند. در نهایت نیز به جمع‌بندی و تحلیل مطالب مطرح شده می‌پردازیم. نتیجه‌گیری نهایی این فصل این است که علوم فعلی و به ویژه علوم کامپیوتر و در رأس آنها هوش مصنوعی دارای محدودیت‌های ذاتی و بنیادینی هستند.

### ۱.۱ قضایای ناتمامیت گودل

کورت گودل در سال ۱۹۳۱ قضایای ناتمامیت خود<sup>۱</sup> را ارائه داد. به نظر بسیاری از اندیشمندان، قضایای ناتمامیت گودل مهمترین دستاورد منطق در قرن بیستم می‌باشند و خود گودل را نیز بزرگترین منطق‌دان بعد از ارسطو می‌شمارند. اگر چه هدف اصلی این قضایا نشان دادن عدم امکان یافتن اصول موضوعه‌ای سازگار برای کل ریاضیات (مشهور به برنامه هیلبرت<sup>۲</sup>) بود، ولی این قضایا اثرات عمیقی بر کلیه حوزه‌های علمی دیگر نیز وارد کردند.

گودل در مسیر ارائه قضایای ناتمامیت‌اش دو محرک اصلی داشت. یکی، نظرات ویتگنشتاین (در مورد حد نهایی آن چیزی که زبان می‌تواند در مورد زبان بگوید) و دومی دیدگاه افلاطونی وی و اعتقادش به واقع‌گرایی<sup>۳</sup> و وجود دنیای معانی علاوه بر دنیای مادی که انسان با کمک الهام می‌تواند به آن راه یابد.

قضایای ناتمامیت گودل بیان می‌کنند که عبارات درستی در حوزه اعداد طبیعی وجود دارند که درستی آنها قابل اثبات نیست. یا به عبارتی هویت‌هایی در ریاضیات وجود دارند که اگرچه از اصول نظریه اعداد طبیعی تبعیت می‌کنند، اما رفتاری متفاوت از این اعداد دارند.

<sup>۱</sup>Gödel's incompleteness theorems

<sup>۲</sup>Hilbert's program

<sup>۳</sup> دیدگاه واقع‌گرایی افلاطونی بیان می‌کند که حقایق ریاضی، مطلق، دارای نمود خارجی و ازلی هستند. طبق این دیدگاه حقایق ریاضی اختراع نمی‌شوند بلکه کشف می‌شوند [ENM].

مراحل اثبات قضایای گودل<sup>۴</sup> عبارتند از [۲۱]:

۱. ساخت یک فرمول حسابی  $G$ ، معادل حکم « $G$ : فرمول  $G$  قابل اثبات نیست».
۲. بیان اینکه  $G$  قابل اثبات است اگر و فقط اگر  $\neg G$  قابل اثبات باشد. و این یعنی ناسازگار بودن منطق حساب یا غیر قابل اثبات بودن (تصمیم‌ناپذیر بودن)  $G$ .
۳. نشان دادن درست بودن مفهومی  $G$ ، علیرغم غیر قابل اثبات بودن آن با استنتاج صوری از اصول حساب.
۴. ۱. ناکامل بودن حساب بدلیل هم درست و هم تصمیم‌ناپذیر بودن  $G$ .
۵. ۱. اثبات اینکه «اگر حساب سازگار باشد، ناکامل است» و در نهایت نشان دادن اینکه «سازگاری حساب قابل اثبات نیست».

در اینجا، از ارائه اثبات این مراحل صرف‌نظر می‌کنیم (برای این منظور می‌توانید به [۲۱] مراجعه نمایید). برای بدست آوردن شهودی از نحوه اثبات این قضایا، در بخش بعد، اثبات مساله توقف تورینگ را ارائه می‌کنیم که از قضایای ناتمامیت گودل الهام گرفته و اثبات آن نیز از لحاظ مفهومی بسیار نزدیک به آنهاست.

این مراحل نشان دهنده این واقعیت هستند که همه حقایق حساب را نمی‌توان از اصول متعارف آن استنتاج کرد. گودل پا را از این نیز فراتر گذاشته و نشان داد که حساب بطور ذاتی ناکامل است و حتی اگر اصولی نیز به گونه‌ای به اصول موضوعه آن اضافه شوند که فرمول درست  $G$  بتواند از مجموعه اصول جدید استنتاج شود، باز هم می‌توان فرمول درست ولی تصمیم‌ناپذیر دیگری را برای نشان دادن ناکامل بودن آن ارائه داد.

اهمیت ارائه این قضایا در این است که حقایقی را بیان می‌کنند که با دیدگاه‌های قبلی موجود در مورد ریاضیات تناقض دارند. مهم‌ترین وجه آن نیز محدودیت بنیادینی<sup>۵</sup> است که به توان روش اصولی وارد می‌آید. در همین راستا مسائلی را می‌توان مثال زد که از مجموعه اصول حساب قابل استنتاج و اثبات نیستند و مثال نقضی نیز برای آنها ارائه نشده است. به عنوان نمونه‌هایی از این مسائل می‌توان به حدس گولدباخ<sup>۶</sup> (که بیان می‌کند هر عدد زوج مجموع دو عدد اول است) و فرضیه ریمن (که بیان می‌کند که بخش حقیقی غیر صفر خروجی تابع  $\zeta$  ریمن به ازای هر ورودی برابر ۰.۵ است) اشاره نمود.

نکته مهمی که در مورد قضیه گودل باید ذکر شود این است که از قضیه گودل این نتیجه یأس‌آور بر نمی‌آید که ذهن انسان محدودیت ذاتی دارد، بلکه نتیجه این است که ذهن بشر بصورت کامل قابل فرموله کردن نیست [۲۱].

## ۱.۲ مساله توقف تورینگ

قبل از پرداختن به این بخش ابتدا به یادآوری دو موضوع می‌پردازیم. یکی تورینگ، که بیان‌کننده این موضوع است که هر ماشین تورینگی می‌تواند توسط یک ماشین تورینگ عمومی (UTM<sup>۷</sup>) شبیه‌سازی شود. این تز تلویحا بیان می‌کند که هیچ کدام از نسخه‌های توسعه یافته ماشین تورینگ بر قدرت نسخه عمومی آن نمی‌افزایند، بلکه فقط در بالابردن سرعت و سهولت نقش دارند. دیگری نیز قضیه Church-Turing، که بیان‌کننده این موضوع است که هر عمل قابل محاسبه‌ای (الگوریتم‌واری) توسط یک ماشین تورینگ عمومی قابل انجام است. برای اثبات این قضیه از هم‌ارزی ماشین تورینگ عمومی و حساب  $\lambda$ -calculus استفاده می‌شود. ترکیب این دو قضیه بیان می‌کنند که هر آنچه که انسان می‌تواند بصورت الگوریتمی انجام دهد، توسط یک ماشین تورینگ عمومی قابل انجام است و همچنین اینکه قدرت محاسباتی یک ابر کامپیوتر امروزی با قدرت ماشین تورینگ عمومی برابر است [۱۷].

<sup>۴</sup> این مراحل از نسخه قابل فهم‌تری از این قضایا - که توسط آلفرد تارسکی ارائه شده‌اند - اقتباس شده‌اند.

<sup>۵</sup> این محدودیت‌ها به این دلیل بنیادین هستند، چون با اضافه نمودن اصول دیگری نیز به اصول موضوعه، مشکل مطرح شده کماکان وجود خواهد داشت.

<sup>۶</sup> Goldbach's conjecture

<sup>۷</sup> Universal Turing Machine

همانگونه که دیدیم، عبارتی که گودل در اثبات خود بکار می‌برد، واقعیت خاصی را در مورد خود آن عبارت مورد سوال قرار می‌دهد. تورینگ در سال ۱۹۳۶ با الهام از این واقعیت، مساله توقف<sup>۸</sup> را پایه‌ریزی کرد<sup>۹</sup>. وی ثابت کرد که هیچ ماشین تورینگی نمی‌تواند در مورد توقف یا عدم توقف ماشین تورینگ دیگری اظهار نظر کند [۱۲] (مساله توقف یک دستگاه تورینگ تصمیم‌ناپذیر است). این نتیجه بعدها توسط Rice به قضیه‌ای با همان نام تعمیم یافت که بیان می‌کند که «هر خاصیت غیربديهی در باره زبانی که توسط یک ماشین تورینگ پذیرفته می‌شود، تصمیم‌ناپذیر است [۷]». یا به عبارتی ساده‌تر «هر سوال غیر بديهی در باره رفتار یا خروجی یک ماشین تورینگ تصمیم‌ناپذیر است».

اثبات مساله توقف تورینگ  
در ادامه این بخش، نسخه قابل فهم‌تری از اثبات مساله توقف را بصورت خلاصه ارائه می‌دهیم. برای این منظور از برهان خلف استفاده می‌شود:

الف) فرض می‌کنیم مساله توقف‌پذیری یک ماشین تورینگ تصمیم‌پذیر باشد و ماشین تورینگ  $h$ ی<sup>۱۰</sup> وجود داشته باشد که بتواند در مورد توقف‌پذیری ماشین تورینگ  $p$  با ورودی  $i$  بصورت زیر اظهار نظر کند:

•  $h(p,i)=true$  یعنی اینکه  $p$  با ورودی  $i$  متوقف می‌شود.

•  $h(p,i)=false$  یعنی اینکه  $p$  با ورودی  $i$  متوقف نمی‌شود.

ب) تابع  $t(i)$  را بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

Program  $t(\text{input } i)$

```
if  $h(i,i)=0$ 
  stop;
else
  loop forever;
```

پ) می‌خواهیم بررسی کنیم که ماشین تورینگ  $t$  با ورودی  $t$  متوقف می‌شود یا خیر؟

• اگر  $t(t)$  متوقف شود، آنگاه طبق الف)  $h(t,t) = true$  خواهد شد و طبق ب) می‌بینیم که  $t$  هرگز متوقف نخواهد شد.

• اگر  $t(t)$  متوقف نشود، آنگاه طبق الف)  $h(t,t) = false$  خواهد شد و طبق ب) ماشین تورینگ  $t$  باید متوقف شود.

در هر دو حالت فوق به تناقض می‌رسیم؛ پس طبق برهان خلف، فرض در نظر گرفته شده الف) نادرست بوده و مساله تصمیم‌پذیری یک ماشین تورینگ تصمیم‌ناپذیر است.

## ۱.۳ ثابت‌های امگا

تعریف محاسبه‌ناپذیری اعداد  
قبل از شروع این بخش، به یادآوری تعریف محاسبه‌ناپذیری اعداد حقیقی می‌پردازیم. بخش اعشاری اعداد حقیقی‌ای، نظیر  $\pi$  یا  $\sqrt{2}$  می‌تواند توسط یک الگوریتم تولید شود. به این اعداد محاسبه‌پذیر<sup>۱۱</sup> گفته می‌شود. در مقابل این دسته، اعداد محاسبه‌ناپذیر هستند که رقم‌های آنها توسط روش‌های الگوریتمی قابل محاسبه نیستند. به عنوان نمونه‌ای از این دسته، می‌توان به عدد دودویی‌ای اشاره نمود که صفر یا یک بودن  $n$ امین رقمش معادل توقف یا عدم توقف  $n$ امین ماشین تورینگ در مجموعه شمارای همه ماشین‌های تورینگ باشد.

<sup>۸</sup>halt problem

<sup>۹</sup> هم قضایای گودل و هم مساله توقف تورینگ، هر دو، دارای منشا الهامی واحدی هستند: ایده Diagonal Slash که کانتور برای اثبات ناشمارا بودن مجموعه اعداد حقیقی بکار برد [۷].

<sup>۱۰</sup> ماشین تورینگ  $i$  یعنی  $i$ امین ماشین تورینگ در مجموعه شمارای همه ماشین‌های تورینگ (برای اثبات شمارا بودن مجموعه همه ماشین‌های تورینگ مثلاً به [۷] مراجعه نمایید).

<sup>۱۱</sup>computable

می‌دانیم مجموعه تمامی ماشین‌های تورینگ شمارا هستند. با فرض اینکه هر ماشین تورینگ یک خروجی حقیقی تولید کند، ماشین‌های تورینگ فقط قادر به تولید تعداد شمارایی اعداد حقیقی، به عنوان خروجی، هستند. از آنجایی که تعداد کل اعداد حقیقی نامشمارا هستند، پس تعدادی عدد حقیقی هستند که نمی‌توانند خروجی هیچ ماشین تورینگ باشند (محاسبه‌ناپذیر هستند) [۱۷]. اعداد محاسبه‌ناپذیر نقش مهمی را در نمایش ناتمامیت علم بازی می‌کنند. نمونه جالبی از این اعداد ثابت‌های چایتین<sup>۱۲</sup> (امگا) می‌باشند [۱۰] که در ادامه به معرفی آنها می‌پردازیم.

سر منشأ ثوابت امگا نیز به مساله توقف تورینگ بر می‌گردد. احتمال توقف یک ماشین تورینگ که به تصادف از بین همه ماشین‌های تورینگ انتخاب شود، چقدر است؟ چایتین این احتمال را  $\Omega$  (امگا) نامید. در ابتدا محاسبه  $\Omega$  و حتی فرموله کردن مساله آن غیر ممکن می‌نمود، ولی این کار با یافته ارائه شده در مقاله [۱۳] مبنی بر اینکه می‌توان عملیات هر ماشین تورینگ را به یک معادله دیوفانتی ترجمه کرد، امکان‌پذیر شد. در این مقاله همچنین نشان داده شد که توقف هر ماشین تورینگ معادل داشتن جواب طبیعی معادله دیوفانتی متناظر آن ماشین می‌باشد (بدیهی است که مساله داشتن یا نداشتن جواب طبیعی یک معادله دیوفانتی، تصمیم‌ناپذیر می‌باشد).

چایتین با استفاده از معادلات دیوفانتی توانست مساله محاسبه  $\Omega$  را فرموله کرده و سپس نشان دهد که  $\Omega$  محاسبه‌ناپذیر نیست. نشان داده شده است که در صورت امکان محاسبه  $\Omega$ ، می‌توان مسائلی نظیر حدس گلدباخ و فرضیه ریمن را نیز حل نمود.

کار به همین جا ختم نمی‌شود. چایتین سوپر امگاها را نیز مطرح نمود که درجه تصادفی بودن آنها بسیار بالاتر از  $\Omega$  است. اگر یک کامپیوتر خداگونه<sup>۱۳</sup> وجود داشته باشد که قادر به حل مساله توقف بوده و بتواند  $\Omega$  را محاسبه کند، باز هم یک احتمال توقف ( $\Omega'$ ) برای این کامپیوتر وجود خواهد داشت. این روند کماکان ادامه خواهد داشت و احتمال‌های توقف برای کامپیوترهای قوی‌تر و قوی‌تر نیز مطرح خواهد بود. لازم به ذکر است که این امگاها صرفاً ثابت‌های ریاضی بی‌معنی نیستند. به عنوان مثال مفهوم سه امگای اول از رشته امگاها، بصورت زیر توسط چایتین ارائه شد:

- $\Omega$ : احتمال توقف یک ماشین تورینگ به تصادف انتخاب شده.
- $\Omega'$ : احتمال تولید تعدادی متناهی خروجی توسط یک سری محاسبات نامتناهی.
- $\Omega''$ : احتمال fail کردن یک سری محاسبات نامتناهی در تولید خروجی.

وجود این رشته امگاها نشان می‌دهد که هرگز نمی‌توان کامپیوتری ساخت که بتواند همه چیز را محاسبه کند.

## ۱.۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف از این فصل نشان دادن ناتمامیت علوم و به ویژه علوم کامپیوتر بود. برای این منظور ابتدا قضایای گودل مطرح شدند که اولین تلاش برای نشان دادن ناتمامیت علوم بود. ارائه قضایای ناتمامیت گودل باعث بوجود آمدن انقلاب‌هایی در علوم شد. ولی کماکان برخی از اندیشمندان که به علم با دیدی مقدس‌گونه نگاه می‌کنند، حاضر به پذیرش این نقصان در علم نبوده و با دیدی عملگرگرایانه این ایراد را به این قضایا وارد می‌آوردند که عبارتی که گودل اثبات‌های خود را مبتنی بر آن انجام داده است، عبارتی پیچیده و بی‌کاربرد است، در نتیجه نمی‌توان اعتبار چندانی برای این قضایا قایل شد.

این اعتراض به دو دلیل وارد نیست. یکی اینکه در سال‌های اخیر عبارات ساده و کاربردی‌ای نیز ارائه شده‌اند که می‌توانند جایگزین عبارت مورد استفاده توسط گودل شوند [۱۷]. دلیل دیگر نیز اینکه این قضایا الهام‌دهنده کارهای بسیار اساسی بعدی از جمله مساله توقف تورینگ، قضیه رایس، ثابت‌های چایتین و ... بوده‌اند. ایراد دیگری که توسط مک‌کارتی به قضیه گودل وارد شده است [۱۸] این است که گودل در برهانش تئوری مجموعه‌های مناسبی را بکار نمی‌گیرد. مثلاً اگر وی از تئوری مجموعه‌های Zermelo-Fraenkel [۱۴] استفاده می‌کرد، به راحتی قادر بود قضیه گودل را اثبات کند. ایرادی که به این ایراد وارد است این است که تئوری مجموعه‌های ZF طوری طراحی شده است که دارای اصول موضوعه‌ای باشد که از همان ابتدا مانع بیان گزاره‌هایی نظیر گزاره بکار رفته در برهان

<sup>۱۲</sup>Chaitin's constants

<sup>۱۳</sup>omnipotent

گودل شود. به نظر می‌رسد که این کار به نحوی پاک کردن صورت مساله باشد. در ضمن این راه حل قابل توسعه به زمینه‌های دیگری که از تئوری مجموعه‌ها استفاده نمی‌کنند (نظیر مساله توقف، قضیه رایس و ثوابت چایتین) نیست.

در بخش بعدی این فصل مساله توقف تورینگ و قضیه رایس مطرح شدند. دلیل اهمیت این دو مورد، دید کاربردی‌تر آنهاست. و ناتوانی اساسی‌ای که به کامپیوترهای امروزی وارد می‌کنند. در این بخش بیان شد که یک ماشین تورینگ می‌تواند هر فعالیت الگوریتم‌واری را انجام دهد. مساله توقف و حالت عمومی‌تر آن، قضیه رایس، نیز نشان دادند که یک ماشین تورینگ نمی‌تواند در مورد رفتار یا عملکرد (خروجی) ماشین تورینگ دیگر اظهار نظر کند. از این قضایا نتیجه می‌شود که اظهار نظر غیر بدیهی در مورد رفتار یا عملکرد یک الگوریتم (ماشین تورینگ) یک فعالیت غیرالگوریتمی است. در نتیجه از یک کامپیوتر که ساختار آن بر این اساس پی‌ریزی شده است که بتواند یک فعالیت الگوریتمی را انجام دهد، نمی‌توان انتظار انجام بسیاری از فعالیت‌های لازم برای هوشمندی را داشت. این نتیجه محدودیت بسیار شدیدی را از کامپیوترهای امروزی نشان می‌دهد.

مک‌کارتی در [۱۸] معتقد است که هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر دارای محدودیت ذاتی نیستند، چون منطق قابلیت نمایش همه آن مواردی را دارد که به عنوان محدودیت برای هوش مصنوعی مطرح هستند. وی معتقد است که در حال حاضر ضعف از الگوریتم‌ها نیست، از داده‌ها و دانش مورد نیاز است که به خوبی توسط انسان‌ها تامین نمی‌شود. ایرادی که به این ادعا وارد است این است که مک‌کارتی بخش درک مساله را که باید آن هم توسط کامپیوتر انجام شود، به انسان واگذار کرده است که چندان منطقی به نظر نمی‌رسد. در این مورد در فصل‌های بعد بیشتر صحبت خواهیم کرد.

البته شواهد دیگری نیز برای نشان دادن ناتمام بودن علمی نظیر هوش مصنوعی وجود دارد. یکی از این شواهد نشان می‌دهد که تفکر عملی غیر الگوریتمی است. در تفکرات انسان‌ها کلمات جایی ندارند و آنها فقط برای بیان اتفاق‌هایی که رخ می‌دهند، از کلمات استفاده می‌کنند. یک انسان هیچ وقت نمی‌تواند تمام آنچه که در ذهن‌اش اتفاق می‌افتد را بیان کند. این شهود و توجه به این نکته که بیان الگوریتمی با کلمات اتفاق می‌افتد، می‌تواند نشان دهنده این امر باشد که تفکر انسان غیر الگوریتمی است.

تفکر، غیرالگوریتمی است؟

یکی دیگر از این شواهد مشکل خودآگاهی است. دانشمندان نظیر بن‌روز معتقدند که تعریف هوشمندی بدون ذکر خودآگاهی<sup>۱۴</sup> ناقص است و حضور توأم تفکر (رفتار) و خودآگاهی است که هوشمندی را می‌سازد [۱۷]. از طرفی خودآگاهی یک امر غیر الگوریتمی است<sup>۱۵</sup>

ارتباط خودآگاهی و ناتمامیت علوم کامپیوتر

در بخش آخر این فصل نیز، ثوابت چایتین و توالی امگا و سوپر امگا مطرح شدند که این حقیقت را نشان می‌دهند که هرگز نمی‌توان کامپیوتری ساخت که بتواند همه چیز را محاسبه کند.

موارد مطرح شده در این فصل اثبات‌هایی برای محدودیت کامپیوترها و علوم کامپیوتر بودند. سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا این محدودیت در قالب همان تئوری‌ها باقی می‌ماند یا در مسائل عملی نیز خود را نشان می‌دهند؟ واقعیت این است که با بررسی این محدودیت‌ها می‌توان به شناخت دسته بزرگی از مسائل رسید که کامپیوترها در حل آنها محدودیت بنیادین دارند.

شناخت این مسائل کمک می‌کند تا بتوان تلاش‌های متمرکزی را برای غلبه بر آنها سازماندهی کرد. این هدف در فصل‌های بعدی دنبال می‌شود. در فصل بعد شناخت بیشتری از این مسائل پیدا می‌کنیم و در فصل‌های بعدتر نیز رویکردی برای غلبه بر برخی از این مسائل ارائه خواهیم نمود. و در نتیجه با استفاده از تکنولوژی کامپیوترهای امروزی غیر قابل دستیابی است. نکته جالب دیگری که در همین راستا پن‌روز به آن اشاره می‌کند، اعتقاد وی به این امر است که نمی‌توان موجودی ساخت که خودآگاه نباشد ولی از دید یک کاربر بیرونی معادل یک موجود خودآگاه عمل (فکر) کند. چون خودآگاهی ضرورتاً خود را در برخی از اعمال (یا تفکرات) آشکار می‌کند.

<sup>۱۴</sup> خودآگاهی یا consciousness برای یک موجود در ساده‌ترین تعریف خود، عبارت است از داشتن حالت ذهنی «حس آن موجود بودن».

<sup>۱۵</sup> جدای از بدیهی بودن این امر با توجه به ماهیت خودآگاهی، می‌توان استدلال کرد که خودآگاهی یک امر سطح بالاتر در مورد رفتار و عملکرد خود موجود می‌باشد (طبق تئوری مرتبه بالاتر یا درون‌نگری، خودآگاهی عبارت است از بازنمایی حالات ذهنی یا رفتاری یک سطح در سطحی بالاتر) و می‌توان در حداقل حالت، آن را معادل همان چیزی در نظر گرفت که رایس ثابت کرد که کامپیوترها و هر ماشین مبتنی بر روش‌های الگوریتمی نمی‌توانند آن را دارا باشند.



## فصل ۲

# مسائل ناتمام علوم کامپیوتر

در فصل قبل به این نتیجه رسیدیم که هوش مصنوعی دارای محدودیت‌های بنیادین و ذاتی است. در این فصل می‌خواهیم نشان دهیم که این محدودیت‌ها فقط دارای جنبه‌های تئوری نیستند و کاربردهای عملی زیادی از آنها متأثر هستند. دسته‌بندی مهم‌ترین مشکلات موجود در این زمینه و ارائه نمونه‌های عملی از مسائل موجود در این دسته‌ها، اهداف این فصل هستند.

در ادامه، ابتدا در بخش اول به بررسی مشکل نبود پایگاه داده حس عام<sup>۱</sup> در دنیای ماشین‌ها می‌پردازیم. سپس با توجه به مطالب ارائه شده قبلی، یک دسته‌بندی از مسائلی که توسط ماشین‌ها قابل حل نیستند را ارائه داده و در مورد هر کدام از آنها توضیحات و مثال‌هایی را بیان می‌کنیم. در انتها نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مطالب ارائه شده در این فصل می‌آید.

### ۲.۱ پایگاه داده حس عام

ماروین مینسکی در [۹] به بررسی وضعیت هوش مصنوعی می‌پردازد. یکی از دلایلی که وی برای پیشرفت‌های کند در زمینه‌هایی نظیر درک زبان طبیعی بیان می‌کند این است که کامپیوترها به معانی کلمات و اشیاء، به آن صورتی که انسان‌ها می‌فهمند، دسترسی ندارند. وی برای تشریح این واقعیت واژه «ریسمان» را مثال می‌زند. یک انسان به آسانی می‌فهمد که می‌توان با ریسمان چیزی را «کشید»، ولی نمی‌شود چیزی را «هل داد». با یک ریسمان می‌شود چیزی را «بسته‌بندی کرد» ولی نمی‌توان آن را «خورد» و ... یک نوجوان می‌تواند در چند دقیقه صدها کاربرد یا عدم کاربرد ریسمان را برای شما بازگو کند ولی یک کامپیوتر قادر به انجام حتی بخشی از این کار نیست. حال کافی است به جای ریسمان صدها هزار کلمه و مفهوم دیگری را در نظر بگیرید که می‌شناسید. اگر کامپیوتری بخواهد زبان طبیعی را درک کند باید چنین درکی از تمامی این کلمات و مفاهیم و ارتباط بین آنها داشته باشد، که ندارد.

این امر برای سایر کاربردها (به جز درک زبان طبیعی) نیز صادق است. مثلاً کاربرد بینایی ماشین و مساله تشخیص شیء صندلی را در نظر بگیرید. یک انسان برای درک صندلی نیازی ندارد که حتماً شیء متعارفی را ببیند که دارای چهار پایه و یک پشتی است، وی با دیدن یک صندلی با هر تعداد پایه و یا داشتن و یا نداشتن پشتی یا ... قادر است صندلی را تشخیص دهد. وی برای این منظور از درک صندلی و کاربردهای و همچنین ارتباط آن با سایر اشیای دنیا که در ذهن وی شکل گرفته است، بهره می‌برد. اگر کامپیوتر نیز بخواهد که بینایی داشته باشد باید چنین درکی از تمامی اشیاء و ارتباط بین آنها داشته باشد، که ندارد.

مینسکی از این مشکل تحت عنوان «نبود پایگاه دانش حس عام» نام می‌برد. این مشکل دارای سه وجه مختلف است:

۱. ساخت چنین پایگاه دانشی از لحاظ حجم کاری مورد نیاز عملاً غیر ممکن است.
۲. با فرض انجام‌پذیر بودن این کار، پیدا کردن روشی برای نمایش<sup>۲</sup> مناسب این دانش بسیار مشکل است.

<sup>۱</sup>Common Sense knowledgebase problem

<sup>۲</sup>representation

۳. طراحی و توسعه سیستمی که بتواند از این پایگاه دانش استفاده کند، اگر ناممکن نباشد، حداقل بسیار سخت است.

مینسکی همچنین بیان می‌کند که برنامه‌های کامپیوتری وجود دارند که بتوانند شطرنج بازی کنند، یا یک تصویر متنی را به متن تبدیل کنند، ولی هیچ برنامه شطرنجی وجود ندارد که بتواند کار تبدیل متن را انجام دهد، یا اینکه هیچ برنامه تبدیل متنی نمی‌تواند شطرنج بازی کند. وی مهم‌ترین دلیل این امر را عدم استفاده برنامه‌های مختلف از یک پایگاه دانش حس عام می‌داند.

## ۲.۲ دسته‌بندی مسائل ناتمام

با توجه به توضیحات ارائه شده در فصل اول و همچنین بخش قبلی همین فصل، می‌توان دسته‌بندی زیر را برای مسائل ناتمام ارائه نمود. در این دسته‌بندی منظور از یک عمل سطح بالاتر در مورد یک «چیز» مواردی نظیر درک، تحلیل، اظهار نظر یا قضاوت در مورد آن «چیز»، مد نظر می‌باشد:

کامپیوترها قادر به حل چه مسائلی نیستند؟

۱. فعالیت‌هایی که شامل مسائل ناشناخته، غیر الگوریتمی یا غیر قابل حل برای انسان‌ها هستند. یا بصورت دقیق‌تر مسائلی که برای انجام آنها نیاز به پایگاه دانش حس عام بوده یا فرآیند انجام آنها برای انسان‌ها ناشناخته‌اند (غیر الگوریتمی‌اند). مسائلی نظیر مساله به ظاهر ساده غیربازگشتی تصمیم‌گیری در مورد قابل پوشش بودن یا نبودن یک سطح مسطح اقلیدسی با استفاده از کاشی‌های پوشاننده<sup>۳</sup> [۱۷]، تبدیل بدون خطای گفتار یا تصاویر متنی به متن، تگ کردن و حاشیه‌نویسی تصاویر و سایر مستندات چندرسانه‌ای، تحلیل عواطف موجود در یک متن، تصویر یا صدا، مشکل شرایط آب‌وهوایی کره زمین و ... نمونه‌هایی از این دسته می‌باشند.

۲. فعالیت‌هایی که نیاز به درک محیط یا مساله دارند. در کامپیوترهای امروزی، یک عامل بیرونی وجود دارد که اطلاعات مورد نیاز یک مساله را پردازش کرده و آنها را به فرمی در می‌آورد که توسط کامپیوتر قابل دریافت و پردازش باشند (یک مدل انتزاعی و در بسیاری از موارد ناکامل از مساله را برای کامپیوتر فراهم می‌کند که با درک خود مساله توسط کامپیوتر تفاوتی بنیادین دارد). سپس کامپیوتر اقدام به حل مساله با توجه به آن ورودی‌ها می‌کند. البته در این مرحله نیز کامپیوترها محاسباتی را که به آنها واگذار می‌شود انجام می‌دهند، بدون اینکه درکی از آنها داشته باشند (در واقع کامپیوترها مقداری از درک برنامه‌نویس‌هایشان را بکار می‌گیرند. برنامه‌نویس مساله را درک کرده و فرموله می‌کند و برای حل آن الگوریتم ساده یا حتی مبتنی بر یادگیری ماشین ارائه می‌دهد. منتها به دلیل سرعت، دقت و حافظه کامپیوترها، اجرای الگوریتم را به آنها واگذار می‌کند [۱۹]). کامپیوتری وجود ندارد که بتواند مساله‌ای را درک کرده و نسبت به حل آن اقدام نماید. قدرت الگوریتمی هر کامپیوتر وابسته به قدرت تحلیل و طراحی برنامه‌نویسی دارد که برنامه وی را می‌نویسد.

۳. فعالیت‌هایی که نیاز به یک عمل سطح بالاتر در مورد رفتار یا عملکرد خود آن ماشین دارند. به عنوان درک گیر افتادن در حلقه بی‌نهایت پس از مدت زمان قابل قبولی و توقف فعالیت جاری، نمونه‌ای از کارهایی است که انسان به راحتی می‌تواند انجام دهد، ولی یک ماشین هرگز قادر به انجام آن نیست.

۴. فعالیت‌هایی که نیاز به یک عمل سطح بالاتر در مورد رفتار یا عملکرد ماشین‌های دیگر دارند. نمونه خیلی واضحی از این دسته مسائل، قضاوت در مورد مناسب بودن یا نبودن یک الگوریتم کامپیوتری برای حل یک مساله مشخص می‌باشد. تست بتای نرم‌افزارها هم نمونه خوب دیگری می‌باشد. هیچ کامپیوتری نمی‌تواند تست‌های غیر بدیهی را در مورد یک نرم‌افزار بتا انجام دهد.

۵. فعالیت‌هایی که نیاز به یک عمل سطح بالاتر در مورد رفتار یا عملکرد انسان‌ها دارند. ارزیابی رفتار انسان‌ها، قضاوت‌های حقوقی، ارزیابی اثرات هنری و ... نمونه‌ای از این دسته مسائل می‌باشند.

۶. فعالیت‌هایی که نیاز به یک عمل سطح بالاتر در مورد مفاهیم و حقایق کلی موجود در جهان دارند. مباحثی نظیر زیبایی‌شناسی و داوری‌های اخلاقی مواردی هستند که در این دسته می‌گنجد.

<sup>۳</sup>nonrecursive tiling

## ۲.۳ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل ابتدا به مشکل نبود پایگاه داده حس عام پرداختیم. سپس یک دسته‌بندی از مسائلی را ارائه دادیم که توسط ماشین‌ها قابل انجام نیستند.

تا اینجا، مفهوم ناتمامیت علوم کامپیوتری و به ویژه هوش مصنوعی را بیان کرده و مسائل ناتمام مربوطه را دسته‌بندی کردیم. از این پس، به دنبال رویکردهایی برای برخورد با دسته مسائل ارائه شده خواهیم بود. لازم به ذکر است که قبل از این تلاش‌هایی نیز در این زمینه انجام شده‌اند. به عنوان مثال پن‌روز ایده استفاده از کامپیوترهای کوانتومی را برای تطابق بیشتر با ساختار فیزیولوژی انسان مطرح می‌کند [۱۷]. ایرادی که به این پیشنهاد وارد است این است که کامپیوترهای کوانتومی ممکن است بتوانند برخی از مسائلی را که در کامپیوترهای معمولی در زمان‌هایی قابل حل هستند را در زمان چند جمله‌ای حل کنند، ولی از لحاظ قدرت محاسباتی همانند کامپیوترهای فعلی بوده و قادر به حل مسائل غیر الگوریتمی نمی‌باشند [۶].

ایده استفاده از  
کامپیوترهای کوانتومی

در فصل‌های بعدی رویکردی را به منظور حل تعدادی از مسائل این دسته‌ها ارائه خواهیم کرد.

## فصل ۳

# جمع‌سپاری

در این فصل به بررسی جمع‌سپاری و قدرت اطلاعاتی شبکه‌های جمعی<sup>۱</sup> خواهیم پرداخت. هدف از این فصل نشان دادن قدرت این شبکه‌ها برای استفاده‌های وسیع‌تر از آنها می‌باشد. ما می‌خواهیم از قدرت این شبکه‌ها به صورت موثر برای کاربردهای جدیدی استفاده کنیم که تا کنون کمتر به آنها توجه شده است.

امروزه، زندگی ما در شبکه‌های جمعی و اجتماعی مختلف سپری می‌شود. هر فرد عضو یک یا چند شبکه می‌باشد. بسیاری از این شبکه‌ها نگاشت دیجیتالی داشته و به خوبی قابل مطالعه هستند. در این مطالعات می‌توان تاثیر فرد و شبکه را متقابلاً بر روی هم بررسی نمود.

هر فردی در هر شبکه، دارای قدرت اطلاعاتی مشخصی می‌باشد. قدرت اطلاعاتی شبکه نیز در این است که در آن، حتی اگر عضوی قادر باشد فعالیت هر کدام از اعضای دیگر آن شبکه را انجام دهد، قادر به انجام برآیند فعالیت همه اعضای آن شبکه نخواهد بود. یعنی دانش قابل حصول از اعضای یک شبکه به صورت شگرفی بیشتر از دانش تکین اعضای آن شبکه می‌باشد.

در مقاله [۱] که در ششم فوریه ۲۰۰۹ در نشریه Science توسط Pentland, Barabasi و سیزده نفر از همکاران‌شان ارائه شد ظهور علم جدیدی را با نام Computational Social Science اعلام کرده و در توصیف این علم جدید چنین نوشته‌اند: «حوزه‌ای در حال ظهور است که ظرفیت آن را دارد که داده‌ها را در مقیاسی جمع‌آوری و تحلیل کند که امکان آشکارسازی رفتارهای فردی و گروهی را داشته باشد».

ظهور حوزه جدیدی از علم

در ادامه ابتدا جمع‌سپاری را تعریف نموده و کاربردهای فعلی آن را بر خواهیم شمرد. سپس ارتباط جمع‌سپاری و استخراج دانش از شبکه‌های جمعی را مورد بررسی قرار خواهیم داد. جمع‌سپاری هوشمند نیز آخرین بخش این فصل می‌باشد.

### ۳.۱ تعریف جمع‌سپاری

جمع‌سپاری<sup>۲</sup> ترکیبی معنایی از دو عبارت خرد جمعی<sup>۳</sup> و برون‌سپاری<sup>۴</sup> می‌باشد. این اصطلاح نخستین بار در سال ۲۰۰۶ توسط روزنامه‌نگاری به نام Jeff Howe در مقاله‌ای در نشریه Wired معرفی شد [۲]. وی در سال ۲۰۰۸ نیز کتابی را با همین عنوان منتشر نمود [۳].

طبق تعریف ویکی‌پدیا<sup>۵</sup> جمع‌سپاری عبارت است از عمل برون‌سپاری وظایف بوسیله یک کارفرما به گروه بزرگی از مردم یا یک انجمن

<sup>۱</sup> شبکه‌های جمعی (collective networks) شبکه‌هایی هستند که افراد موجود در آنها [بر خلاف شبکه‌های اجتماعی] دارای ارتباطات مستقیم بسیار اندکی هستند.

<sup>۲</sup> Crowdsourcing

<sup>۳</sup> The wisdom of crowd

<sup>۴</sup> Outsourcing

<sup>۵</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Crowdsourcing>

(یک جمع) از طریق یک فراخوان. طبق توصیف ویکی‌پدیا، جمع‌سپاری یک مدل توزیع‌شده حل مساله و تولید می‌باشد. ویکی‌پدیا تفاوت بین جمع‌سپاری و برون‌سپاری را در این می‌داند که در جمع‌سپاری بر خلاف برون‌سپاری، مساله بین گروهی از کاربران ناشناس پخش می‌شود نه یک فرد مشخص شناخته شده. تفاوت بین جمع‌سپاری و متن‌باز هم در این است که در فعالیت‌های متن‌باز فعالیت‌های داوطلبانه‌ای هستند که توسط یک فرد از همان جامعه آغاز می‌شوند و سایر اعضا نیز به شکل داوطلبانه به تکمیل آن می‌پردازند، ولی در فعالیت‌های جمع‌سپاری یک مشتری است که اقدام به شروع یک فعالیت می‌کند و گروه‌هایی از اعضای شبکه بصورت موازی به حل آن فعالیت اقدام می‌کنند. تفاوت اساسی دیگری که بین آن دو وجود دارد، انگیزه‌های شرکت‌کنندگان در آن فعالیت‌ها می‌باشد. در حالت کلی هر فعالیت متن‌باز می‌تواند به عنوان یک فعالیت جمع‌سپاری تلقی شود، ولی عکس این قضیه صادق نیست.

## ۳.۲ کاربردهای جمع‌سپاری

سرعت رشد جمع‌سپاری بعد از معرفی ایده اولیه آن بسیار سریع بوده است و شبکه‌های بسیار زیادی با هدف جمع‌سپاری بوجود آمده‌اند. علیرغم تعداد زیاد این شبکه‌ها، کاربردهای این شبکه‌ها می‌تواند در چند دسته خاص طبقه‌بندی شود. دسته‌های پیشنهادی ما برای این منظور عبارتند از: خلق و ایجاد، نیروهای آماده بکار، تحقیق و توسعه، ایده‌پردازی و ایده‌پروری، سرمایه‌گذاری جمعی، پیش‌بینی، سازمان‌دهی و هوش جمعی. در ادامه به معرفی مختصر هر کدام از این دسته‌ها می‌پردازیم.

برای اطلاعات بیشتر در این زمینه و مشاهده نمونه‌های متنوع دیگری از هر دسته به گزارش تکنیکی [۲۲] مراجعه نمایید.

### خلق و ایجاد

در این طبقه از اعضای یک شبکه جمع‌سپاری خواسته می‌شود که محتوا، محصول یا مفهومی را خلق کنند. از مهم‌ترین نمونه‌های این دسته می‌توان به نرم‌افزارهای متن‌باز اشاره نمود که اعضای از سراسر جهان در ساخت، تکمیل و رفع اشکال این نرم‌افزارها هستند. نمونه بسیار مشهور دیگری از این دسته سایت ویکی‌پدیا می‌باشد، که نیاز به توضیحات بیشتری ندارد. شبکه [Cambrian House](#) نیز نمونه معروف دیگری از این دسته می‌باشد که در سال ۲۰۰۵ بوجود آمد. در این شبکه اعضا ایده‌های خود را در مورد محصولات نرم‌افزاری بیان می‌کنند، سپس بر روی این ایده‌ها نظرسنجی صورت می‌گیرد تا هم بهترین‌های آنها شناسایی شده و هم بهبودها و تغییرات لازم از دید سایر اعضا درباره آنها جمع‌آوری شود. در نهایت نیز نسبت به اجرای این ایده‌ها اقدام می‌شود. نمونه دیگری از این دسته شبکه [CrowdSpirit](#) می‌باشد که عملکرد آن مشابه شبکه قبلی می‌باشد، با این تفاوت که در حوزه محصولات الکترونیکی ارزان قیمت (نظیر پخش کننده‌های MP3، دوربین‌های دیجیتال، کنترلرهای بازی‌ها و ...) فعالیت می‌کند.

گسترده‌ترین کاربرد  
فعلی شبکه‌های جمعی

### نیروهای آماده بکار

در این نوع شبکه‌ها نیز هدف خلق و ایجاد است، با این تفاوت که هدف‌های معین و از قبل مشخص شده‌ای وجود ندارد، بلکه اعضای شبکه همانند نیروهای آماده بکاری هستند که منتظرند تا درخواستی به سیستم وارد شود تا بنا به آن درخواست بلافاصله خلق و ایجاد خود را شروع کنند. معروف‌ترین مثال این زمینه شبکه [Rent A Coder](#) می‌باشد که دارای تعداد بسیار زیادی طراح و توسعه دهنده نرم‌افزاری به عنوان عضو است (بیش از ۱۵۰ هزار عضو)، با دریافت درخواست جهت توسعه یک نرم‌افزار، شبکه این درخواست را به اعضایش ارائه می‌دهد و جهت انجام پروژه، تقاضای پروپوزال می‌کند. پس از بررسی پروپوزال‌ها، برنده مشخص شده و قراردادی جهت انجام کار با وی منعقد می‌گردد.

### تحقیق و توسعه

شبکه‌های این دسته اقدام به جذب متخصصین و کارشناسان به عنوان عضو می‌کنند. سپس از صنایع و شرکت‌های بزرگ، درخواست می‌کنند تا جهت رفع مشکلاتشان یا ایجاد نوآوری و خلاقیت در فرآیندهایشان نیازهای خود را به این شبکه اعلام کنند. با اعلام نیازها به شبکه، این نیازها به اعضا اعلام می‌شود. در صورتی که راهکاری از طریق یکی از اعضا برای این پروژه‌ها پیشنهاد شود، این راهکار

مهم‌ترین کاربرد فعلی  
شبکه‌های جمعی

بصورت یک پروپوزال به شرکت متقاضی ارجاع داده می‌شود و در صورت پذیرش آن، کار کامل طرح انجام شده و در مقابل آن هزینه مربوطه دریافت می‌شود. معمولاً در این شبکه‌ها، اعضای شبکه برای حل مشکلات و ایده‌پردازی می‌توانند تشکیل گروه‌های کاری داده و بصورت تیمی برای رفع مشکل اقدام نمایند. در اصل این شبکه‌ها شبیه شرکت‌های با تعداد بسیار زیادی متخصص هستند که همه آماده بکار بوده و در صورت نیاز بکار گرفته می‌شوند ولی هیچ کدام از آنها سربار مالی‌ای برای آن شرکت ندارند. قدرت برخی از این شبکه‌ها به حدی است که به عنوان مرجعی جهت حل مشکلات تکنولوژیک شناخته می‌شوند و شرکت‌های Fortune Top 500 از مشتریان پر و پا قرص آنها می‌باشند.

نمونه قوی‌ای از این شبکه‌ها، شبکه InnoCentive می‌باشد. در این شبکه اعضای متخصصی در زمینه‌های مختلف عضو شده‌اند (در حال حاضر بیش از دویست هزار متخصص عضو این شبکه می‌باشند که ۶۱ درصد آنها دارای مدارج پیشرفته علمی یا صنعتی هستند) و می‌توانند پروژه‌ها و مسایل ارسال شده به شبکه را مطالعه نموده و در صورت توان حل هر کدام از مسایل، آمادگی خود را با ارسال پروپوزال برای آن مساله اعلام دارند. مشتریان این شبکه شرکت‌هایی هستند که با چالش‌های جدی روبرو هستند و توسط تیم تحقیق و توسعه شرکت خود قادر به حل این چالش‌ها نبوده یا می‌خواهند با هزینه و زمان پایین‌تری به حل مشکل‌شان دست یابند. سازمان‌های The Economist، Nature، ناسا، SAP، بنیاد راکفلر و ... از مشتریان این شبکه می‌باشند.

## ایده‌پردازی و ایده پروری

در این شبکه‌ها اعضای شبکه به ایده‌پردازی پرداخته و سعی می‌کنند ایده‌هایی را شناسایی کنند که امکان تجاری‌سازی آنها وجود داشته باشد. جذاب‌ترین ایده‌ها پس از رای‌گیری از اعضا مشخص شده و جهت بهره‌برداری‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورت وجود مشتری، این ایده‌ها در راستای مشخصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از سایت‌ها نیز با برگزاری مسابقات مختلف، بخصوص در بین دانشجویان، سعی می‌کنند تا ایده‌های ناب را پیدا کرده و از آنها بهره ببرند. اعضای شبکه، بسته به مورد، در قبال ایده‌هایشان یا جایزه‌های مشخص شده‌ای را دریافت می‌کنند یا در تجاری‌سازی آنها سهم می‌شوند.

## سرمایه‌گذاری جمعی

در شبکه‌های سرمایه‌گذاری جمعی، اعضا به منظور پیدا کردن راه‌هایی جهت انجام سرمایه‌گذاری بر روی دارایی‌هایشان گرد هم می‌آیند. هر فردی در این شبکه می‌تواند ایده‌ای را برای سرمایه‌گذاری مطرح نماید. در صورت مقبولیت ایده بین سایر اعضا، آنها سرمایه‌هایشان را برای عملی کردن پیشنهاد ارائه شده در اختیار این عضو قرار می‌دهند. معمولاً در این شبکه‌ها روال‌های مشخصی برای نظارت‌ها، تعهدها و گارانتی‌ها وجود دارد. وجود جمع زیادی از افراد خبره در امور مالی و سرمایه‌گذاری و نظارت و نظرات سایر اعضا در این شبکه‌ها، شکست سرمایه‌گذاری را به حد بسیار پایینی می‌رساند.

## پیش‌بینی

در این طبقه شبکه‌های جمع‌سپاری سعی می‌کنند تا از دانش اعضای شبکه برای پیش‌بینی میزان موفقیت یک محصول، میزان محبوبیت یک طراحی یا مفهوم، پیامدهای یک اتفاق و ... استفاده کنند. این شبکه‌ها را به نحوی می‌توان وسیله‌ای برای سنجش نظرات کاربران یک محصول، سنجش افکار عمومی، جمع‌آوری افکار افراد خبره و ... دانست. نمونه‌هایی از این شبکه‌ها Threadless (برای پیش‌بینی اینکه کدام تی‌شرت‌ها در بازار خوب فروش می‌کنند) و Dell Idea Storm (برای پیش‌بینی اینکه چه ویژگی‌هایی در محصولات آتی Dell اگر وجود داشته باشند، این شرکت در بازار موفق‌تر خواهد بود) می‌باشند.

## سازمان‌دهی

در این شبکه‌ها، جمع‌سپاری در راستای سازمان‌دهی اطلاعات خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه‌هایی از این شبکه‌ها عبارتند از: digg (لینک‌های وب مختلفی به این شبکه ارسال می‌شود و کاربران در امتیاز دهی به آنها شرکت می‌کنند تا لینک‌هایی که ارزش چک کردن دارند، برای سایرین مشخص نمایند) و del.icio.us (سازماندهی تگ‌های کاربران به محتوای وبی).

## هوش جمعی

در شبکه‌های هوش جمعی<sup>۶</sup> وظایف و پروژه‌هایی با هدف انجام توسط اعضای شبکه پذیرش می‌شوند. این پروژه‌ها یا وظایف به تعداد بسیار زیادی ریز وظیفه شکسته می‌شوند، بطوری که هر ریز وظیفه توسط تعدادی از افراد شبکه قابل انجام باشد. در نهایت جواب‌های این ریز وظایف با هم ادغام شده و جواب وظیفه یا پروژه نهایی از آن ساخته می‌شود. بدیهی است که فقط وظایف خاصی توسط این شبکه‌ها قابل انجام هستند. معمولاً در این شبکه‌ها افراد به ازای انجام ریز وظایف مبلغی را دریافت می‌کنند.

مرتبط‌ترین کاربرد شبکه‌های جمعی، در ارتباط با بحث ما

شبکه Mechanical Turk آمازون معروف‌ترین شبکه از این دسته می‌باشد که در سال ۲۰۰۵ راه‌اندازی شد. این شبکه پروژه‌های مشتریان را گرفته و به HIT<sup>۷</sup>ها (تسک‌های متناسب با هوش انسانی) می‌شکند. سپس این HITها در شبکه قرار داده می‌شوند تا متقاضیان نسبت به انجام آنها اقدام کنند و مبلغ مشخص شده‌ای را برای انجام آنها، در صورت تأیید کارشان دریافت دارند. به عنوان نمونه‌های دیگری از این دسته می‌توان به این شبکه‌ها اشاره نمود: Distributed Proofreaders (برای تصحیح متون ماشینی دیجیتال شده)، Google Image Labeler (یک بازی هدفدار ساده برای لیبیل‌گذاری تصاویر جهت بازبایی محتوایی آنها)، Mob4Hire (برای تست برنامه‌های کاربردی تحت موبایل) و NASA Clickworkers (برای پردازش انسانی تصاویر مریخ).

## ۳.۳ جمع‌سپاری و استخراج دانش

دانش بسیار زیادی به صورت پیدا و پنهان در شبکه‌های اجتماعی دور و بر ما وجود دارد. این دانش غالباً «پراکنده» بوده یا «پنهان» می‌باشد. «پراکنده» از این لحاظ که هیچ‌کدام از افراد آن شبکه به همه آن دانش دسترسی ندارند و هر عضوی از شبکه ممکن است به بخشی از آن دسترسی داشته باشد. «پنهان» نیز از این لحاظ که ممکن بخشی از دانش که هر فرد می‌تواند به آن دسترسی داشته باشد، بصورت شسته و رفته در اختیار وی نباشد و لازم باشد که وی مقداری انرژی برای دستیابی به آن خرج کند. در بسیاری از موارد افراد علاقه‌ای به صرف انرژی برای پیدا کردن دانش پنهان اطرافشان ندارند، چون به این مساله واقف هستند که این دانش، فقط جزء کوچکی از کل دانش مربوطه بوده و به تنهایی برای‌شان فایده‌ای به همراه نخواهد داشت. اگر ناظر سطح بالاتری به وجود این دانش پراکنده و پنهان واقف باشد، می‌تواند برای دستیابی و بهره‌برداری از کل آن با استفاده از یک شبکه اجتماعی اقدام کند. مثال‌های عملی‌ای وجود دارند که نشان داده‌اند که نه تنها دستیابی به دانشی از این جنس امکان‌پذیر است، بلکه سرعت دستیابی به آن نیز با اتخاذ استراتژی مناسب، بسیار سریع می‌باشد.

مسابقه بالن‌های قرمز، نشان دهنده قدرت اطلاعاتی شبکه‌های جمعی

بارزترین مثال موجود در این بخش مسابقه بالن‌های قرمز دارپا<sup>۸</sup> می‌باشد. دارپا به مناسبت چهلیمین سالگرد تولد اینترنت، مسابقه‌ای را تحت عنوان «چالش شبکه‌ای دارپا»، در اواخر سال ۲۰۰۹ به اجرا گذاشت<sup>۹</sup>. هدف از برگزاری این مسابقه نشان دادن نقش اینترنت و شبکه‌های اجتماعی در ارتباطات زماندار، ساخت تیم‌های مجازی با اعضای پراکنده و بسیج فوری برای حل مسایل با حوزه گسترده و بحرانی از لحاظ زمانی بود. این مسابقه همچنین نمایش مناسبی از کارایی جمع‌سپاری در شبکه‌های سنسوری بود [۴].

در این مسابقه از شرکت کنندگان خواسته شده بود که ده بالن شناور هشت فوتی را که در ده نقطه ناشناس آمریکا به مدت محدود از یک زمان مشخص نمایش داده می‌شدند، را شناسایی کنند. به اولین فرد یا گروهی که موقعیت تمامی این بالن‌ها را به درستی گزارش می‌داد، جایزه ویژه‌ای تعلق می‌گرفت.

مهم‌ترین معضل پیش روی شرکت کنندگان در این مسابقه غلبه بر تاکتیک‌های منفی رقبا بوده است. مهم‌ترین تاکتیک‌های منفی در اختیار تیم‌ها عبارت بوده است از<sup>۱۰</sup>:

- بر افراشتن بالن‌های مشابه (که هزینه‌بر بوده و نیازمند جعل عنوان و آرم دارپا می‌باشد).

<sup>۶</sup> Collective Intelligence

<sup>۷</sup> Human Intelligence Tasks

<sup>۸</sup> آژانس تحقیقات پیشرفته دفاعی در ایالات متحده آمریکا

<sup>۹</sup> <https://networkchallenge.darpa.mil>

<sup>۱۰</sup> <http://mssv.net/2009/10/31/how-to-win-the-darpa-network-challenge/>

- ارسال گزارش‌های اشتباه (به انضمام تصاویر فتوشاپی ساختگی و ...) برای تیم‌های رقیب توسط افراد متعدد.
- از بین بردن بالن‌های در دسترس جهت کاهش شانس پیدا شدن آنها توسط دیگر تیم‌ها.

حدود چهار هزار و سیصد گروه در این مسابق شرکت کردند که در نهایت تیمی از دانشگاه MIT موفق به بردن این مسابقه شد. اگر چه تیم‌ها برای شناسایی این بالن‌ها نه روز فرصت داشتند، ولی این تیم در کمتر از نه ساعت موفق به گزارش صحیح تمامی بالن‌ها شد. استراتژی این تیم شکل‌دهی یک شبکه خاص منظوره (به جای استفاده از شبکه‌های عمومی نظیر Facebook، تویتر و ...) و ترغیب افراد به عضویت در این شبکه با بکار گرفتن روش‌های بازاریابی شبکه‌ای بوده است. گزارشی از استراتژی‌های غلبه بر گزارش‌های نادرست که توسط این تیم بکار گرفته شده بود، ارائه نشده است.

برای اطلاعات بیشتر در این زمینه، و همچنین دسترسی به جمع‌بندی‌های ارائه شده توسط داراپا به گزارش تکنیکی [۲۲] مراجعه نمایید.

## ۳.۴ جمع‌سپاری هوشمند

شبکه‌های بسیاری وجود دارند که به امر جمع‌سپاری مشغول هستند ولی فعالیت‌های اصلی جمع‌سپاری توسط آنها بصورت دستی انجام می‌شود. این فعالیت‌های عبارتند از شکستن یک وظیفه به ریز وظیفه‌ها، اختصاص ریز وظیفه‌ها به مناسب‌ترین اعضای شبکه، جمع کردن نتایج ریز وظیفه‌ها، تشخیص خطاهای انجام ریز وظایف توسط اعضای شبکه و مجتمع کردن ریز وظایف و تولید پاسخ نهایی وظیفه اصلی و بالاخره مهم‌تر از همه تضمین درستی جواب وظیفه اصلی تا سطحی مشخص.

کاربرد هوش مصنوعی در سازماندهی شبکه جمعی کاربرد هوش جمعی

در یک شبکه جمع‌سپاری هوشمند سعی می‌شود تا این فعالیت‌ها بصورت خودکار انجام شوند. در این شبکه‌ها یک موتور مدیریتی هوشمند وجود دارد که وظیفه تخصیص ریز وظیفه‌ها به مناسب‌ترین افراد ممکن و اعتبارسنجی جواب‌های برگشت داده شده را بر عهده دارد.

یک نمونه موفق از جمع‌سپاری هوشمند پروژه txtEagle می‌باشد. هدف از ارائه این سیستم ایجاد اشتغال در کشورهای آفریقایی بوده است. در پروژه txtEagle یا جمع‌سپاری از طریق تلفن همراه، وظیفه‌های کاری بزرگ به تکه‌های کوچک‌تر (اصطلاحاً ریز وظیفه‌ها) شکسته شده و بین افراد مختلف تقسیم می‌شوند. سپس نتایج این ریز وظیفه‌ها با هم ترکیب شده و منجر به حل یا انجام وظیفه بزرگ اصلی می‌شوند. رسانه اصلی در این پروژه تلفن همراه می‌باشد.

تفاوت txtEagle با سایر سرویس‌های جمع‌سپاری که این سرویس‌ها یک مشتری را به جمعیتی از کارکنان متصل می‌کنند ولی در این پروژه، این اتصال بصورت داخلی برقرار شده و به مشتری پاسخ کلی کار با تضمین بالایی از صحت نتایج برگشت داده می‌شود. لازمه این کار این است که جمع‌سپاری هوشمند باشد. بخش هوشمند این مساله، شامل الگوریتم‌های پیچیده‌ای تحت عنوان «موتور استنتاج صحت»<sup>۱۱</sup> است که به عنوان قلب این سیستم کار می‌کند. دو تفاوت اصلی این سیستم با سایر سیستم‌های دیگر، که ناشی از بکارگیری موتور استنتاج صحت می‌باشند، عبارتند از:

- در txtEagle اختصاص وظیفه به کاربر بصورت پویا بر اساس سختی کار و توانایی‌های کاربر صورت می‌پذیرد. اینکار کارایی را افزایش داده و هزینه زمانی انجام وظایف را کاهش می‌دهد. همچنین در طی زمان یادگیری سیستم افزایش پیدا کرده و این کار با دقت بالاتری انجام خواهد شد.
- در txtEagle داده‌های رسیده از کاربران مورد بررسی قرار گرفته و مجتمع می‌شوند و در نهایت یک جواب کامل به مشتری برگشت داده می‌شود.

پس می‌توان وظایف اصلی موتور استنتاج صحت را بصورت زیر بر شمرد:

<sup>۱۱</sup>Accuracy Inference Engine



- تخمین میزان خبرگی اعضای شبکه و پیش‌بینی اینکه کدام کاربر برای انجام یک وظیفه مشخص از همه مناسب‌تر است. نتایج مستقیم کارایی الگوریتم در این بخش افزایش کارایی، کاهش زمان تحویل و داشتن دید کامل از توانمندی‌ای کل مجموعه می‌باشد.
- محاسبه درصد صحت انجام یک ریز وظیفه: ساده‌ترین راه برای اعتبارسنجی جواب یک کاربر این است که آن ریز وظیفه برای حل به چندین فرد در شبکه سپرده شود و در صورتی که جواب فرد با جواب بیشتر افرادی که تسک به آنها سپرده شده است یکی باشد، جواب آن فرد را درست در نظر بگیریم. مشکل این عمل در این است که سربرار بسیار بالایی را به سیستم تحمیل می‌کند. در سبک‌ترین حالت آن، لازم است که یک تسک حداقل به سه فرد سپرده شود، یعنی سربرار ریزوظایف سه می‌باشد. با تکنیک‌های هوش مصنوعی و مدل‌سازی و یادگیری رفتار و توانایی‌های فرد می‌توان این سربرار را کم نموده و به عدد یک نزدیک نمود.
- تشخیص اینکه چه زمانی یک کار با کیفیت مورد نظر مشتری پایان یافته است و باید به مشتری تحویل داده شود (قدرت الگوریتم در این مرحله باعث شده است که بتوان به مشتری تضمین‌های مشخصی را ارائه نمود). در حال حاضر صحت وظایف تکمیل شده توسط این سیستم دارای تضمین ۹۵ درصدی می‌باشند.
- تشخیص اینکه به هر کاربر بر اساس کارایی‌اش چه مقدار هزینه باید اختصاص داده شود.

## ۳.۵ جمع‌بندی

در این فصل به تعریف جمع‌سپاری و معرفی کاربردهای آن پرداخته و ارتباط آن با استخراج دانش را بیان کردیم. سپس کاربرد جمع‌سپاری هوشمند را ارائه دادیم. در فصل‌های آتی در مورد جمع‌سپاری هوشمند و نحوه استفاده از شبکه‌های جمعی به عنوان ابزاری برای پرداختن به برخی مسائل ناتمام علوم کامپیوتر بیشتر صحبت خواهیم کرد.

## فصل ۴

# سیستم‌های جمعی

دلیل روی آوردن به سیستم‌های جمعی در فصل‌های قبل به ناتمامیت علوم کامپیوتر و همچنین دسته‌بندی مسائل ناتمام موجود پرداختیم. سپس جمع‌سپاری و قدرت اطلاعاتی شبکه‌های جمعی را بررسی کردیم. در این فصل می‌خواهیم به معرفی سیستم‌های ترکیبی به عنوان رویکردی برای حل بخشی از این مسائل بپردازیم. دلیل اصلی روی آوردن به این دیدگاه این است که ماشین‌های امروزی قادر به حل مسائل بسیار ساده غیر الگوریتمی نیستند ولی انسان‌ها به راحتی می‌توانند این مسائل را حل کنند. از طرفی سرعت و دقت پردازش کامپیوترها در مقایسه با انسان‌ها بسیار بیشتر است. در نتیجه ترکیب قدرت غیر الگوریتمی مغز انسان‌ها و سرعت و دقت کامپیوترها منطقی به نظر می‌رسد.

ادغام یا ترکیب فعالیت‌ها؟  
یک راه ترکیب انسان و ماشین ادغام آن دو در هم می‌باشد. فعالیت‌هایی نیز تا کنون در این زمینه انجام شده‌اند. به عنوان مثال کوین وارویک<sup>۱</sup> از دانشگاه ری‌دینگ انگلیس تا کنون چند چپ را در بازوهای خود جاسازی کرده و هم اکنون نیز دنبال روشی است تا بتواند این چپ‌ها را در مغزش جاسازی نماید. یا در پروژه<sup>۲</sup> Roborat در نقاطی از مغز موش‌های آزمایشگاهی الکترودهایی به منظور کنترل حرکات و رفتار آن‌ها کار گذاشته می‌شود. بدون توجه به دستاوردهای این پروژه‌ها و همچنین مباحث اخلاقی موجود در مورد آنها، بدلیل تفاوت ماهوی این پروژه‌ها با رویکرد مورد نظر، از پرداختن به این پروژه‌ها صرف‌نظر می‌کنیم.

راه دیگر ترکیب انسان‌ها و کامپیوتر، ترکیب فعالیت‌های آن دو و ایجاد یک شبکه جمعی از آنها و بهره‌گیری از نقاط قوت طرفین می‌باشد. ابتدا سناریوی کلی رویکرد مورد نظر را با یک مثال کلی بازگو کرده و سپس به بیان جزئیات بیشتر این رویکرد می‌پردازیم.

سناریوی کاربرد شبکه‌های جمعی  
یک مساله پیچیده را در نظر بگیرید که شامل بخش‌های غیر الگوریتمی بوده و نه انسان به تنهایی قادر به حل آن است و نه سیستم‌های هوشمند فعلی. فرض کنید که این مساله را بتوان به تعداد بسیار زیادی مساله کوچکتر شکست، به قسمی که ریز مساله‌های غیر الگوریتمی به راحتی توسط یک فرد عادی قابل حل بوده و همچنین ترکیب همه ریز مسائل بتوانند جواب کلی مساله اصلی را بدست دهند. همچنین فرض کنید که تعداد ریزمسائل بسیار بالا بوده و شکست مساله و ترکیب ریز مسائل، نیازمند دقت و سرعت بالایی بوده و توسط نیروهای انسانی قابل انجام نبوده، ولی یک کامپیوتر به خوبی بتواند این کار را انجام دهد. در این صورت در این پروسه، همکاری انسان (با حل ریز مسائل غیرالگوریتمی) و ماشین (با شکستن مساله به ریز مسائل، حل ریز مسائل الگوریتمی و ترکیب جواب‌های ریز مسائل) می‌تواند به حل این مساله پیچیده که هیچ‌کدام به تنهایی قادر به حل آن نیستند کمک کند. پروسه فوق، پایه محثی است که در این فصل به آن خواهیم پرداخت.

در این فصل ابتدا به معرفی چند پیش‌زمینه می‌پردازیم. این پیش‌زمینه‌ها شامل معرفی دیدگاه اتصال‌گرایی و روش‌های هوش محاسباتی می‌باشد که سعی می‌کنند اهمیت ارتباطات در سیستم‌های ساده را برای بدست آوردن خروجی‌های پیچیده نشان دهند. در بخش دوم این فصل یک سیستم جمعی را معرفی کرده و به بررسی جنبه‌های مختلف آن می‌پردازیم. در این بخش همچنین اجزای مختلفی که یک سیستم جمعی در حالت کلی باید داشته باشد را بررسی کرده و دشواری‌های موجود بر سر راه این سیستم‌ها را ارائه می‌کنیم. در نهایت نیز در بخش آخر به جمع‌بندی مطالب ارائه شده پرداخته و دورنمایی از آینده این سیستم‌ها را ترسیم می‌کنیم.

<sup>۱</sup><http://www.kevinwarwick.com>

<sup>۲</sup><http://www.wireheading.com>

## ۴.۱ پیش‌زمینه‌ها

رویکرد محاسبه‌گرایی بیان می‌کند که مغز محاسبات پیچیده‌ای را بر روی نمادهای مختلفی انجام داده و از این طریق فرآیندهای رفتاری و ذهنی را بوجود می‌آورد. یکی از مدل‌های اصلی این رویکرد ماشین تورینگ می‌باشد، که تا حد زیادی آن را مورد بررسی قرار دادیم. رویکرد دیگری در زمینه نحوه تولید فرآیندهای ذهنی، رویکرد اتصال‌گرایی می‌باشد. این رویکرد تلاش می‌کند تا پدیده‌های رفتاری یا ذهنی را به عنوان فرآیندهایی ناشی از عملکرد شبکه بهم پیوسته‌ای از بخش‌های ساده مدل کند. مهم‌ترین مدل ارائه شده در این زمینه شبکه‌های عصبی (طبیعی و مصنوعی) می‌باشند. اتصال‌گرایان معتقدند که ارتباطات موجود مابین تعداد زیادی از نرون‌های فیزیکی باعث بوجود آمدن فرآیندهای ذهنی (غیر فیزیکی) می‌شوند. دیدگاه اتصال‌گرایی به مادی‌گرایان کمک می‌کند تا بتوانند چگونگی وجود فرآیندهای ذهنی را توجیه کنند.

روش‌های هوش گروهی محاسباتی<sup>۳</sup> نظیر کلونی مورچه‌ها<sup>۴</sup> مبحث دیگری هستند که نزدیکی معنایی بالایی به دیدگاه اتصال‌گرایی دارند. به عنوان مثال مقاله [۸] عملکرد مغز را با استفاده از مفهوم کلونی مورچه‌ها توضیح می‌دهد. کلونی مورچه‌ها یک مبحث داغ در سالیان اخیر بوده است. روح کلی این مبحث و سایر الگوریتم‌ها و ایده‌های الهام گرفته شده از آن این است که از همکاری مورچه‌ها برای حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی استفاده شود. هر مورچه به تنهایی دارای هوش و توانمندی‌های محدودی می‌باشد ولی جمعی از مورچه‌ها در یک کلونی دارای رفتار جمعی بسیار پیچیده و هوشمندی می‌باشند. بدیهی است که هیچ کدام از مورچه‌ها به تنهایی قادر نخواهند بود کل پروژه (مثلاً فضای مسیریابی) را تصور کرده و عملکرد مورچه‌ها و نتیجه نهایی را دریابند یا به تنهایی به آن دست یابند.

هوش گروهی محاسباتی می‌تواند از دنیای کلونی مورچه‌ها و دسته‌های پرندگان مهاجر به شبکه جمعی آدم‌ها گسترش داده شود. شالوده اصلی رویکرد پیشنهادی همین گسترش می‌باشد.

تلاش‌های منسجمی نیز قبل از این، توسط مرکز مطالعات هوش جمعی دانشگاه MIT<sup>۵</sup> در این زمینه انجام گرفته است. این مرکز یک مرکز بین‌دانشکده‌ای (متشکل از بخش‌های آزمایشگاه رسانه، آزمایشگاه هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر، دانشکده مغز و علوم شناختی و مدرسه مدیریت) است که با هدف مطالعه نقش تکنولوژی‌هایی (نظیر کامپیوتر و اینترنت) بر هوش جمعی (همکاری افراد در انجام فعالیتی که هوشمند بنظر برسد) و چگونگی بهره‌برداری از آنها فعالیت خود را از سال ۲۰۰۶ شروع نموده است. مساله پژوهشی پایه این است که «چگونه می‌توان افراد و کامپیوتر را با هم مجتمع کرد به قسمی که ترکیب بوجود آمده هوشمندتر از هر دو جز تشکیل دهنده باشد؟».

پروژه‌های این مرکز تا کنون عبارت بوده‌اند از: تهیه کتاب راهنمای هوش جمعی<sup>۶</sup> با مشارکت همه علاقمندان به صورت یک wiki<sup>۷</sup>، پروژه «همکاری آب‌وهوا»<sup>۸</sup> با هدف «استفاده از هوش جهان به منظور نجات سیاره» که در آن از مردم خواسته می‌شود تا ایده‌های خود را برای نجات سیاره در مقابل تغییرات اقلیمی بیان کرده و یا در مورد نظرات دیگران اظهار نظر کنند، و پروژه «اندازه‌گیری هوش جمعی» با هدف دستیابی به ابزاری برای اندازه‌گیری هوش یک گروه از افراد به منظور انجام یک فعالیت مشخص، با تکیه بر تلاش جهت پیدا کردن همبستگی کارایی فردی و گروهی و مدل‌سازی پردازش اطلاعات در گروه‌های شامل انسان و ماشین. جزئیات بیشتری از فعالیت‌ها و یافته‌های این مرکز در مباحث بعدی این فصل و فصل‌های آتی مورد اشاره قرار می‌گیرند.

## ۴.۲ معرفی رویکرد

هدف نهایی این رویکرد همانند هدف مرکز CCI رسیدن به پاسخ این سوال است که «چگونه می‌توان افراد و کامپیوتر را با هم مجتمع کرد به قسمی که ترکیب بوجود آمده هوشمندتر از هر دو جز تشکیل دهنده باشد؟». ابزار مورد نظر برای این منظور نیز شبکه‌های جمعی بوده و سناریوی پیش‌بینی شده نیز سناریوی ارائه شده در ابتدای همین فصل می‌باشد. این موارد، چارچوب کلی رویکرد را مشخص می‌کنند. بررسی جنبه‌های مختلف این رویکرد و دشواری موجود بر سر راه این دیدگاه، مطالب ادامه این فصل را تشکیل می‌دهند.

<sup>۳</sup>computational swarm intelligence

<sup>۴</sup>ant colony

<sup>۵</sup>MIT Center for Collective Intelligence

<sup>۶</sup>Handbook of Collective Intelligence

<sup>۷</sup><http://scripts.mit.edu/cci/HCI>

<sup>۸</sup>climate collaboratorium

یکی از مهم‌ترین جنبه‌ها، نشان دادن کارایی این رویکرد می‌باشد. پیشنهاد توماس مالون مدیر مرکز CCI برای این منظور، یکی، جمع‌آوری مثال‌ها یا مطالعات موردی موجود در این زمینه بوده و دیگری، ساخت مثال‌های جدیدی از این پدیده و مطالعه بر روی چگونگی کارکرد آنها می‌باشد. دو فعالیت فوق، اول اینکه به شناخت هر چه بیشتر این حوزه نو ظهور منجر می‌شوند و دوم اینکه به شناسایی اصول طراحی مسائل این حوزه و شناسایی تاثیر سیستم‌های انسانی، سازمانی، اجتماعی و انگیزشی در به نتیجه رسیدن این مسائل کمک می‌کنند [۵].

جامعه هدف مسائل سیستم‌های جمعی موضوع دیگری که باید به آن پرداخته شود، جامعه هدف مسائلی است که می‌توانند با این رویکرد حل شوند. ویژگی‌های اصلی‌ای که یک مساله هدف باید داشته باشد تا توسط این رویکرد قابل حل باشد، را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- قابل شکست به تعداد زیادی زیر مساله باشد.
- بخشی از این زیر مسائل نامحاسباتی (غیر الگوریتمی) بوده و به آسانی توسط اعضای شبکه جمعی قابل حل باشند.
- قابلیت حل زیر مسائل بصورت موازی امکان‌پذیر باشد (یا اینکه وابستگی‌های بسیار کمی بین آنها وجود داشته باشد).
- روش الگوریتم‌واری برای اعتبارسنجی پاسخ‌های ارائه شده توسط اعضای شبکه جمعی انسانی وجود داشته باشد.
- روش الگوریتم‌واری برای شکست مساله و ترکیب زیر مسائل وجود داشته باشد.

به عنوان یک مثال از جامعه هدف می‌توان به مساله بازیابی بر اساس محتوای تصویر در سطح مفهومی اشاره نمود. این مساله در رویکرد سیستم جمعی می‌تواند بصورت زیر مطرح شود: ابتدا پایگاه داده مورد نظر تشکیل می‌شود. استخراج ویژگی می‌بایست برای تمامی تصاویر این پایگاه داده انجام پذیرد. ویژگی‌های استخراجی برای هر تصویر را می‌توان مفهومی در نظر گرفت که در آن تصویر بیان شده‌اند. استخراج مفاهیم موجود در یک تصویر همانگونه که قبلاً اشاره شد، یک کار غیر الگوریتمی بوده و می‌بایست برای صدها هزار تا چند میلیون تصویر انجام پذیرد. جمع‌آوری و سازماندهی تصاویر و مفاهیم استخراجی، اعتبارسنجی آنها و جستجو در ویژگی‌های استخراجی کاری است که بخوبی می‌تواند از عهده یک کامپیوتر برآید. با توجه به توضیحات ارائه شده، مشاهده می‌شود که این مساله می‌تواند یک مساله هدف مناسب برای رویکرد پیشنهادی باشد.

به عنوان مثال‌های دیگری از مسائل هدف می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: تحقیقات میدانی گسترده، ترجمه، رونویسی فایل‌های صوتی، تست بتای نرم‌افزارها، کشف خطاهای رخ داده در سیستم‌های هوشمند کلاسیک نظیر برنامه‌های OCR و ....

جنبه دیگری که می‌خواهیم به آن بپردازیم، معماری این سیستم می‌باشد. تیم اوریلی<sup>۹</sup> اصطلاح «معماری مشارکت»<sup>۱۰</sup> را معرفی کرده و بر اهمیت معماری سیستمی که قرار است برای مشارکت کاربران در یک شبکه طراحی شود، تاکید بسیار می‌کند. برای نشان دادن این اهمیت نیز به نظر لینوس تورالدز در کتاب «متن‌باز»<sup>۱۱</sup> اشاره می‌کند که بیان می‌کند که «معماری یک نرم‌افزار متن‌باز ممکن است خیلی مهم‌تر از کد منبع آن نرم‌افزار باشد». این گفته برای سیستم‌های جمعی نیز صادق است. نکته مهم دیگری که در مورد سیستم‌های جمعی وجود دارد این است که انسان‌ها و ابزارها در یک سیستم جمعی کارا باید با هم تکامل پیدا کنند [۱۵].

یک سیستم جمعی باید دارای اجزای زیر باشد:

۱. روشی برای شکست مساله اصلی به زیر مسائل
۲. الگوریتم‌ها (برنامه‌ها)یی که بتوانند زیر مسائل الگوریتمی را حل کنند.
۳. شبکه‌ای از آدم‌ها که بتوانند زیر مسائل غیر الگوریتمی را حل کنند. موارد مختلفی می‌تواند در مورد چنین شبکه‌ای مطرح باشد. نحوه شکل‌دهی شبکه، ارتباطات بین اعضای آن، سیستم انگیزشی بکار گرفته شده برای ترغیب افراد شبکه به همکاری بیشتر و کارا [با قابلیت ایجاد رقابت بین اعضای شبکه]، روش‌هایی برای کشف مسائل به اشتباه یا به عمد غلط حل شده توسط انسان‌ها و ... نمونه‌هایی از این مسائل می‌باشند.

<sup>۹</sup>[http://oreilly.com/pub/a/oreilly/tim/articles/architecture\\_of\\_participation.html](http://oreilly.com/pub/a/oreilly/tim/articles/architecture_of_participation.html)

<sup>۱۰</sup>architecture of participation

۴. روش‌هایی برای ترکیب نتایج زیر مسائل حل شده: این بخش می‌تواند از یک ذخیره‌سازی ساده در مثال بازیابی تصویر ارائه شده تا روش‌هایی نظیر Bayesian Truth Serum [۱۱] در پیش‌بینی جمعی متفاوت باشد.

۵. روش‌هایی برای سنجش کارایی سیستم در حل یک مساله: طبق [۲۰] مهم‌ترین عوامل موثر در کارایی شبکه جمعی عبارتند از: نوع وظایف تزریق شده به شبکه (قابل تقسیم بودن، قابل بهینه‌سازی، ترکیب‌پذیر که خود شامل زیر دسته‌های افزایشی، جریان‌کننده، عطفی و فصلی می‌باشد)، اطلاعات مربوط به وظایف که در اختیار اعضای شبکه قرار می‌گیرد، پیوستگی اعضای شبکه، میزان تبادل اطلاعات، نحوه سازماندهی (رهبری) کل سیستم، نحوه تخصیص وظایف به اعضای گروه، آموزش اعضا در راستای وظایف، طوفان افکار و اجماع عمومی و در نهایت استرس (که دارای یک رابطه ۸-شکل با کارایی است).

۶. روش‌هایی برای یادگیری سیستم (مدل‌سازی کاربران و یادگیری بازدهی افراد مختلف برای ریز مسائل از انواع متفاوت، شناسایی منابع ایجاد نوید و نتایج نادرست در شبکه و ...)

به جز دو مورد اول، سایر موارد نیاز به بررسی‌های گسترده و دقیقی دارند و هر کدام از آنها می‌تواند موضوع چندین پروژه تحقیقاتی در این زمینه باشد.

## ۴.۳ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا به معرفی رویکرد پیشنهادی پرداختیم و جنبه‌های مختلف آن را مورد بررسی قرار دادیم. هر سیستم ترکیبی دارای اجزای مختلفی می‌باشد که این اجزا باید دارای ویژگی‌ها و شرایط مشخصی باشند که در برخی از موارد به مساله هدف سیستم وابسته است. در فصل‌های آتی به برخی از این اجزا به صورت دقیق‌تری پرداخته و سعی می‌کنیم آنها را بصورت دقیق شناسایی کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم.

دانش حل مساله در جامعه توزیع شده است. اخذ این دانش، انتقال آن و استفاده از آن در محیط جدید دارای هزینه‌های بالایی است [۱۶]. تلاش رویکرد پیشنهادی در این است که چارچوب مناسبی را برای این منظور فراهم آورد.

از دید فلسفی چه دیدگاه ماده‌گرایی داشته باشیم و چه دوگانه‌انگاری شواهدی وجود دارد که بپذیریم سیستم‌های جمعی می‌تواند به نتایج بسیار متمایزی دست پیدا کند. دیدگاه ماده‌گرایی باور دارد که نتیجه فعالیت ارتباطی جمعی از نورون‌های فیزیکی، از جنس غیر فیزیکی (ذهنی) است. از این دیدگاه فعالیت و ارتباط ذهنی جمعی از انسان‌ها در یک سیستم جمعی، منجر به فعالیتی از چه جنسی می‌شود؟ بر اساس دیدگاه دوگانه‌انگاری نیز بر خلاف سیستم‌های کلاسیک، یک سیستم جمعی بخش غیر فیزیکی شعورمند موجود در جهان را در ساخت سیستم‌های هوشمند بکار می‌گیرد، پس بسیار محتمل است که بتواند به نتایجی برسد که امکان رسیدن به آنها در سیستم‌های قبلی غیر ممکن بوده است.

یک ویژگی دیگری از سیستم‌های جمعی که قبلاً به آن اشاره نشده است این است که شبکه مورد استفاده می‌تواند متشکل از برنامه‌های کامپیوتری بوده و سازمانده آنها یک انسان باشد. از این دیدگاه می‌توان در حل برخی از جنبه‌هایی که در مشکل حس عام مینسکی مطرح شد، بهره برد.

به عنوان آخرین بخش این فصل دورنمایی از آینده سیستم‌های جمعی را ارائه می‌دهیم. در این دورنما برنامه‌های کامپیوتری بسیار هوشمندی وجود دارند که می‌توانند فعالیت‌های بسیار زیادی را که قبلاً قادر به انجام‌شان نبودند را به خوبی انجام دهند. فعالیت‌هایی که فراتر از محدودیت‌های نسبت داده توسط قضیه رایس به آنها می‌باشد. آنها همچنین می‌توانند زیبایی را درک کنند، قضاوت کنند، اخلاقیات را درک کرده و در مورد آن اظهار نظر کنند، احساسات موجود در متون را درک کرده و بیان کنند و .... پشت پرده این برنامه‌های کامپیوتری سیستم‌های جمعی هستند که به شبکه‌های بسیار بزرگی متصلند که دارای میلیون‌ها نفر عضو هستند. هر عضو این شبکه در طی روز صدها و یا حتی چند هزار ریز وظیفه ارجاعی (الگوریتمی و غیر الگوریتمی) در زمینه‌های مختلف را به سرعت انجام داده و تحویل سیستم می‌دهد و ....

## منابع و مراجع

- [1] D. Lazer, A. Pentland, L. Adamic, S. Aral, A.-L. Barabási, D. Brewer, N. Christakis, N. Contractor, J. Fowler, M. Gutmann, T. Jebara, G. King, M. Macy, D. Roy, M. Van Alstyne, "Computational Social Science", *Science* 323, 721-724, Feb 2009.
- [2] Jeff Howe, "The Rise of the Crowdsourcing", *Wired Magazine*, 2006 , [link](#).
- [3] Jeff Howe, "Crowdsourcing: Why the Power of the Crowd Is Driving the Future of Business", *Crown Business* publication, 2008.
- [4] "The DARPA Network Challenge", *Project Report*, 2010.
- [5] T. W. Malone, "What is collective intelligence and what will we do about it?", Edited transcript of remarks at the official launch of the MIT Center for Collective Intelligence, October 13, 2006.
- [6] D. Deutsch, "Quantum Theory, The Church-Turing principle and the universal quantum computer", *Proc. R. Soc. Lond. A* 400, 97-117, 1985.
- [7] H. G. Rice, "Classes of recursively enumerable sets and their decision problems", *Trans. AMS* 89:25-59, 1953.
- [8] D. Hofstadter, "Göedel, Escher, Bach", *Basic Books*, New York, 1979.
- [9] M. L. Minsky, "Future of AI Technology", *Toshiba Review*, Vol.47, No.7, July 1992.
- [10] G. Chaitin, "Meta Math!: The Quest for Omega", *Pantheon Books*, New York, 2005.
- [11] D. Prelec, "A Bayesian Truth Serum for Subjective Data", *Science*, pp. 462-466, 2004.
- [12] A. M. Turing, "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungs problem", *Proc. London Math. Soc. Ser. 2* 42, 230-265, 1936; A correction, *ibid*, 43, 544-546, 1937.
- [13] Y. Matiyasevich, J. P. Jones, "Direct translation of register machines into exponential Diophantine equations", In L. Priese, editor, *Report First GFI Workshop Found. Theor. Computer Sci.*, pages 117-130, *Univ. Gesamthochschule, Paderborn*, 1983.
- [14] E. Zermelo, "Über Grenzzahlen und Mengenbereiche", *Fund. Math.* 16, 29-47, 1930.

- [15] D. Engelbart, J. Ruilifson, "Bootstrapping our collective intelligence," ACM. Computing Surveys (CSUR), vol. 31(4es), Article 38, 1999.
- [16] E. von Hippel, "Sticky information and the locus of problem solving: Implications for Innovation", Management Science 40(April), 429-439, 1994.
- [17] R. Penrose, "The Emperor's New Mind", Oxford Press, Oxford, U.K., 1989.
- [18] J. McCarthy, "Review of The Emperor's New Mind by Roger Penrose", Bulletin of the American Mathematical Society, v23 i2, 606-616, 1998.
- [19] R. Penrose, "The Shadows of the Mind", Oxford: Oxford University Press, 1994.
- [20] "Handbook of Collective intelligence", A collective Intelligence Wiki book, [link](#).
- [21] ارنست ناگل، ج نیومن و آلفرد تارسکی، «برهان گودل و حقیقت و برهان»، ترجمه محمد اردشیر، تهران، انتشارات مولی، چاپ اول، ۱۳۶۴.
- [22] جعفر محمدی، «شبکه‌های اجتماعی و قدرت اطلاعاتی آنها»، گزارش تکنیکی، آزمایشگاه رسانه دیجیتال دانشگاه صنعتی شریف، تابستان ۱۳۸۹.