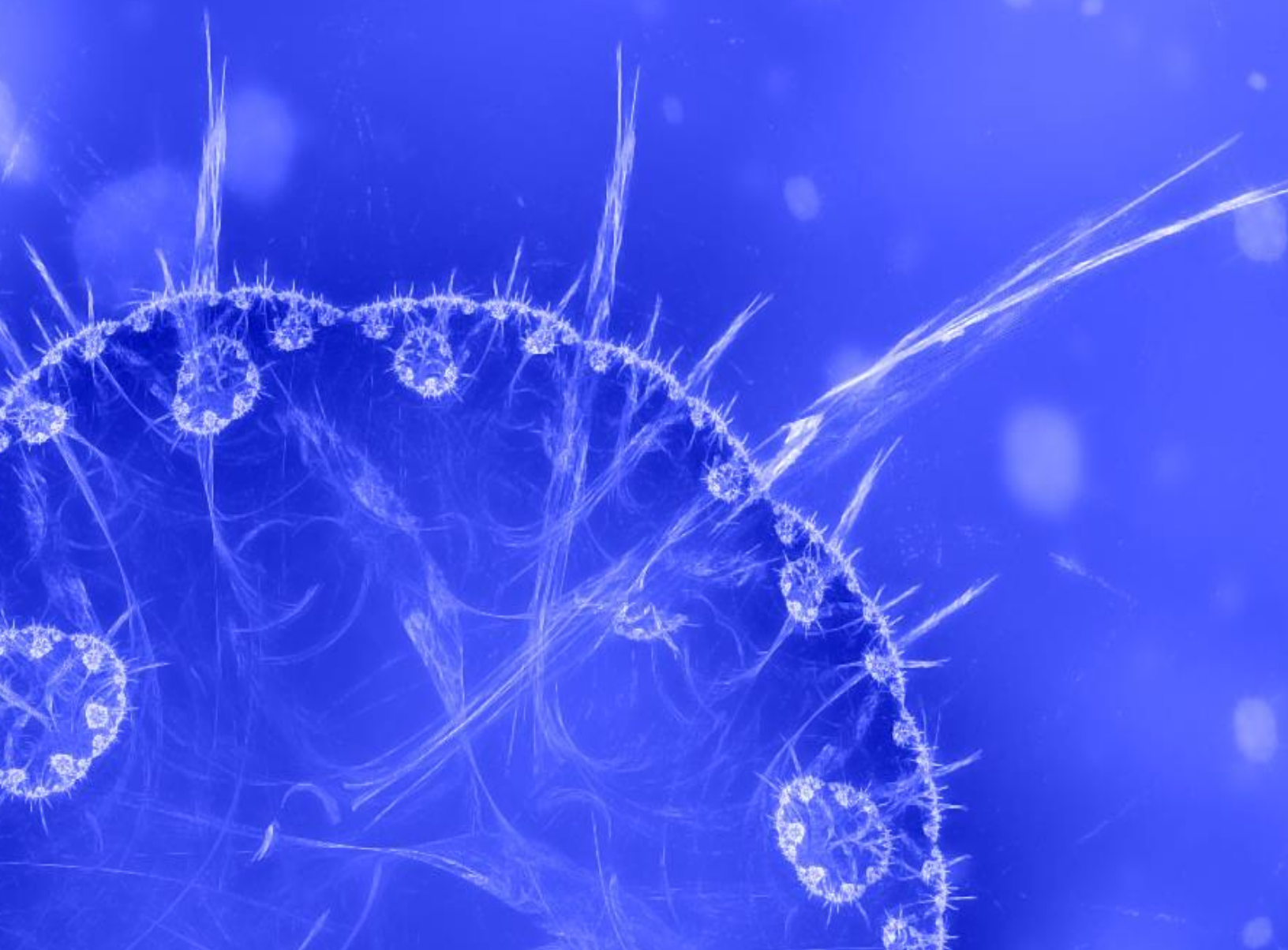


مقدمه‌ای بر

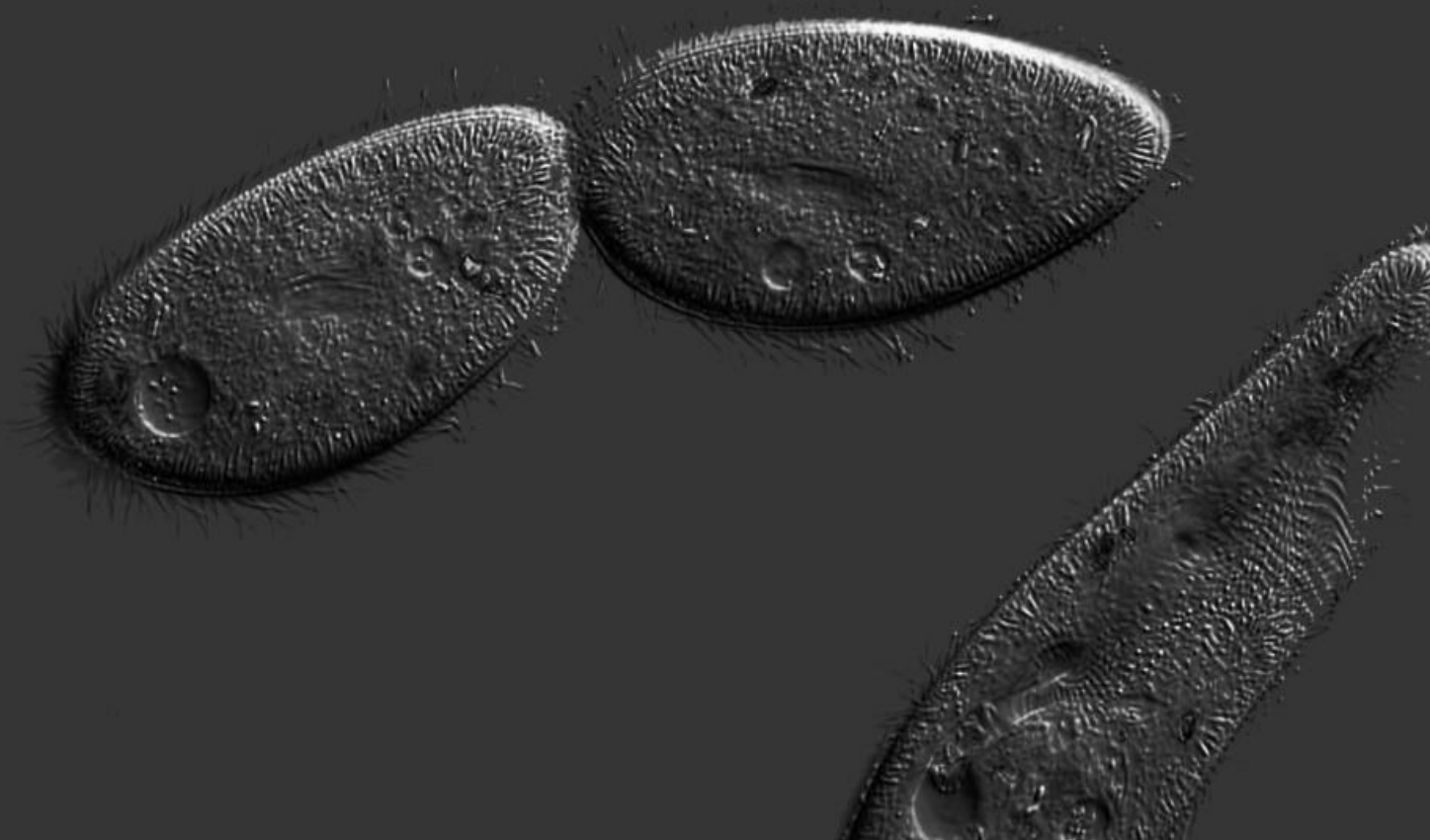
# سیستم‌های پیچیده

محمد رضا شعبانعلی

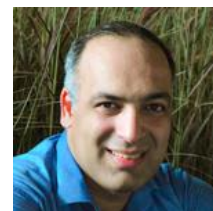


تقدیم به نخستین موجودی که روزی در درونش،  
جهان را چیزی متفاوت از آنچه بود تصور کرد.  
و پس از آن رویا، از خود پرسید:  
پس چرا دنیا آن‌گونه نیست؟  
و نیز،

تقدیم به همه‌ی موجوداتی که پس از او،  
سعی کردند پاسخی برای این سوال بیابند.



ماه‌های پایانی دبیرستان بود که برای سخنرانی در مورد هوش مصنوعی برای بچه‌های سال‌های پایین‌تر مدرسه‌ی علامه‌حلی، به ساختمان سمپاد (که آن زمان در خیابان آفریقای تهران بود) دعوت شدم.



آن زمان تازه کتاب **Artificial Intelligence: A Modern Approach** نوشته‌ی راسل و نورویگ

را - که با التماس و به صورت غیرقانونی از کتابخانه‌ی مرکزی دانشگاه شریف گرفته بودم - با مشقت و سختی به پایان رسانده بودم و طبیعتاً صرفاً بخش‌هایی از آن را درک کرده بودم.

آن کتاب، ماه‌ها همراه روز و همبستر شب من بود. خصوصاً اینکه من چنان عاشق دنیای برنامه‌نویسی و نرم‌افزار بودم که در درس‌های دیگر ضعیف شده بودم که سال قبل از مدرسه‌ی علامه‌حلی اخراج شده بودم.

بنابراین می‌توان حدس زد که زمان حرف زدن از هوش مصنوعی، ذهنم تا چه حد در تسخیر حرف‌ها و نگرش آن کتاب - البته در سطح فهم یک نوجوان دبیرستانی - بود.

خوب یادم هست که سخنرانی‌ام را با این سوال آغاز کردم:

فرض کنید به کراهی دیگر رفته‌ایم و در آنجا موجوداتی را می‌بینیم که شکل بسیار ناشناخته و نامتعارفی دارند و صحبت هم نمی‌کنند (یا اگر صحبت می‌کنند حرف‌هایشان برای ما قابل درک نیست). بر اساس چه معیارهایی می‌توانیم بفهمیم که آنها زنده هستند یا اینکه صرفاً روبات‌هایی بسیار پیشرفته‌اند که پس از انقراض نسل موجوداتی زنده و فوق‌العاده هوشمند، بر روی آن سیاره باقی مانده‌اند؟

آن سخنرانی را سال‌ها فراموش کرده بودم و اکنون که می‌خواستم بر این کتاب مقدمه بنویسم، آن را به خاطر آوردم. اما سوال را هرگز فراموش نکردم و به نوعی احساس می‌کنم که بیست سال اخیر، بخش قابل توجهی از خواندن و نوشتن و فکر کردنم، به آن سوال و سوالات مشابه گذشته است.

مطالعه‌ی پراکنده و بعضاً ساختاریافته در زمینه‌ی هوش، روانشناسی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، فرکتال‌ها، نظریه‌ی آشوب طی سال‌های اخیر، اگر چه در طول مسیر چندان مرتبط به نظر نمی‌رسید، اما طی سال‌های اخیر که با

نظریه‌ی پیچیدگی آشنا شدم، به اجزاء مرتبط یک نظام فکری تبدیل شدند و باعث شد که بفهمم وقت آزادم که در تمام این سال‌ها صرف مطالعه‌ی این موضوعات کردم، هرز نرفته است و کمک کرده که اجزاء یک سیستم فکری به شکلی ساده‌تر و مولدتر در کنار یکدیگر قرار بگیرند.

سوال زنده و مرده بودن، یکی از ساده‌ترین و کوچک‌ترین سوالاتی است که - لاف‌ل در نگاه من - با درک عمیق سیستم‌های پیچیده، از حیطه‌ی فلسفه خارج می‌شود و پاسخی علمی پیدا می‌کند.

فلسفه را در اینجا، به معنایی که ری کورزویل<sup>۱</sup> به کار می‌برد مورد استفاده قرار می‌دهم. او در کتاب چگونه یک ذهن بسازیم<sup>۲</sup>، فلسفه را به منزلگاه میانی در یک جاده تشبیه می‌کند که منزلگاه نهایی آن جاده، علم است. ما هر جا که نمی‌توانیم با روش علمی<sup>۳</sup> به پاسخ پرسش‌های خود دست یابیم، به سراغ فلسفه می‌رویم و وقتی علم پاسخ آن سوال را مشخص کرد، طبیعتاً نادانسته‌های جدیدی زاییده می‌شود. در اینجا دوباره فلسفه به سراغ آن نادانسته‌های جدید می‌رود تا پاسخی برای آنها بیابد.

اگر عمر و فرصتی باشد و این کتاب - که برآورد می‌کنم حجم آن از هزار صفحه فراتر رود - تکمیل شود، امیدوارم برای خواننده واژه‌ی سیستم پیچیده و موجود زنده یک معنا پیدا کند. این را به عنوان یک تعبیر استعاری - یا جنس اشعار ادبی که در تاریخ هزارساله‌ی حرّافی‌های ادب فارسی کم نیست - نمی‌گویم. بلکه به عنوان یک تعبیر کاملاً علمی مورد اشاره قرار می‌دهم.

همچنین منظورم صرفاً این نیست که موجودات زنده نمونه‌ای از سیستم‌های پیچیده هستند. بلکه دو عبارت «زنده بودن» و «زندگی»، لاف‌ل در نگاه من، دو واژه‌ای هستند که قبل از تولد و توسعه‌ی نظریه‌ی پیچیدگی، هرگز به شکلی دقیق مفهوم‌پردازی<sup>۴</sup> نشده بودند و امیدوارم که نسل بعد از ما، که درس‌های مدرسه و دانشگاهش بر اساس نظریه پیچیدگی تدوین خواهد شد، واژه‌ی زنده و مرده را تعبیری ادبی بداند که گذشتگان، برای توصیف رفتارهای پیچیده‌ای که قادر به توضیحشان نبودند به کار می‌برده‌اند.

محمدرضا شعبانعلی

پاییز ۹۵

<sup>1</sup> Ray kurzweil

<sup>2</sup> Kurzweil, R. (2013). How to create a mind: The secret of human thought revealed. New York, NY: Penguin Books.

<sup>3</sup> Scientific Method

<sup>4</sup> Conceptualize

نیوتون هرگز با سقوط سیب شگفت‌زده نشد. سقوط کردن برای او عادی بود. آنچه نیوتون را شگفت‌زده کرد، سقوط نکردن ماه بود. اینکه چرا ماه، مثل سیب سقوط نمی‌کند.

در پاسخ به این سوال، گرانش را کشف کرد و دید که ماه هم، دائماً در یک حرکت دورانی به دور زمین، در حال سقوط است.

اما مردم، نهایتاً داستانی که را دوست داشتند ساختند و روایت کردند و بر همان اساس هم فکر می‌کنند.

آنها هنوز هم، با دیدن موجودات زنده شگفت‌زده می‌شوند. اما هرگز نمی‌پرسند: چرا فکر می‌کنیم اینترنت، شبکه‌های اجتماعی، سازمان، کشور و فرهنگ، زنده نیستند؟

## راه رفتن با دو پای جهان‌بینی و ابزار

اگر نحوه‌ی درک انسان از محیط خود را طی هزاره‌های اخیر - بر اساس آنچه نوشته و از خود به جا گذاشته است - مرور کنیم، می‌توانیم شیوه‌ی اندیشیدن انسان را به کمک استعاره‌ای از جنس راه رفتن، بهتر بیان کنیم. راه رفتن با دو پا که یک پا، دستگاه هستی‌شناسی او و پای دیگر ابزارهای او است.

انسان، هر از چند گاهی جهان‌بینی خود را توسعه داده و یا اصلاح کرده است. سپس کوشیده است ابزارهای خود را توسعه دهد تا بتواند با تکیه بر جهان‌بینی خویش، تسلط بیشتری بر جهان اطراف خود پیدا کند. معمولاً ابزارهایی که طراحی کرده، اگر چه در ابتدا در خدمت جهان‌بینی‌اش بوده‌اند، اما در نهایت خطاها و بی‌دقتی‌ها و نادرستی‌های جهان‌بینی‌اش را آشکار کرده‌اند.

انسان، که البته به سادگی حاضر به اصلاح و تغییر دستگاه هستی‌شناسی خود نیست، معمولاً پس از مدتی مقاومت، جهان‌بینی خود را توسعه می‌دهد، اصلاح می‌کند و یا به کلی تغییر می‌دهد.

معمولاً حاصل این اتفاق، نیاز به ابزارها و روش‌های جدید است و به همین شیوه چرخ علم می‌چرخد و انسان، اگر چه گاه و بی‌گاه خود را دوباره در نقطه‌ی نادانی نسبت به هستی می‌بیند، اما خوب می‌داند که هر بار، یک نادانی متعالی‌تر و ارزشمندتر را تجربه می‌کند.

برای مشاهده‌ی نمونه‌ای از این شیوه‌ی یادگیری انسان، شاید مثالی گویاتر از نیوتون وجود نداشته باشد. اگر چه حساب دیفرانسیل و انتگرال به صورت تقریباً همزمان، توسط لایب‌نیتس و نیوتون اختراع شده و حتی ظاهراً علامت مشهور مساوی (=) هم توسط لایب‌نیتس اختراع و پیشنهاد شده است، اما مشاهده‌ی مسیر اختراع حساب دیفرانسیل و انتگرال توسط نیوتون، مصداق بهتری برای بحث ماست.

کوپرنیک، گالیله و کپلر سه دانشمندی بودند که تا حد خوبی، نجوم جدید را پایه‌گذاری کرده بودند. کوپرنیک به مسیر حرکت سیارات توجه کرد و دید که آنها گاهی در مسیر خود به سمت عقب حرکت می‌کنند. گالیله - تقریباً یک‌تنه، علم استاتیک و دینامیک را توسعه داده بود و کپلر، فرمول‌هایی را برای تحلیل حرکت سیارات مطرح کرده بود و می‌توانست ادعا کند که ساده‌ترین شکل معادلات حاکم بر حرکت سیارات را کشف کرده است.

نیوتون، برای مطالعه در مورد گرانش، نیازمند یک دستگاہ ریاضی متفاوت و قدرتمندتر بود. او حرف‌های کوپرنیک و گالیله و کپلر را می‌فهمید و خودش هم، حرف‌ها و ایده‌های بیشتری داشت. او - ظاهراً بدون اینکه سببی بر سرش خورده باشد - در جستجوی قانونی فراگیرتر از قوانین کپلر و مشاهدات گالیله و جدول‌های کوپرنیک بود.

نیوتون که بر اساس مسیر و سرعت حرکت ماه و شتاب سقوط اشیاء، شکل اولیه‌ی قانون گرانش را تنظیم کرده بود، باور داشت که گرانش، قانونی جهانی است و فراتر از رابطه‌ی زمین و ماه است و نیروی گرانش، بین خورشید و سیاره‌های آن هم به همان شیوه وجود دارد.

اینجا بود که ریاضیات موجود، به او کمک نمی‌کرد. او نمی‌توانست تغییرات لحظه‌ای سرعت یک جسم در حال سقوط و نیز تغییر دائمی و پیوسته‌ی فاصله‌ی سیارات از خورشید را با استفاده از ریاضیات زمان خود، تحلیل کند.

فراموش نکنیم که در زمان نیوتون، هنوز یک قرن هم از ایده‌ی ارزشمند دکارت نگذشته بود و ریاضی‌دان‌ها تازه یاد گرفته بودند که مختصات یک نقطه را در قالب طول و عرض آن بیان کنند.

نیوتون، پس از ابداع حساب دیفرانسیل و انتگرال، توانست نشان دهد که قوانین کپلر، نمایش‌های متفاوتی از یک قانون پایه‌ای‌تر هستند و با استفاده از قانون جهانی گرانش، می‌توان همه‌ی قوانین کپلر و همه‌ی آزمایش‌های گالیله و همه‌ی جدول‌های کوپرنیک را محاسبه و استخراج کرد و شرح داد.

بدین ترتیب، ابتدا نگاه ما انسان‌ها به جهان اطراف تغییر کرد و دستگاہ‌های هستی‌شناسی جدیدی در ذهن ما شکل گرفت. سپس، برای اینکه بتوانیم جهان‌بینی جدید را بهتر و بیشتر بفهمیم، ابزار ریاضی مورد نیاز را اختراع کردیم.

اینشتین با استفاده از ابزارهای ریاضی نیوتونی، به نتیجه رسید که جهانی که نیوتون تصویر می‌کند، شکل ساده‌شده‌ای از جهان واقعی است و ابزارهای نیوتونی کمک کردند تا مکانیک نیوتونی، به تدریج جایگاه فاخر خود را به نسل جدیدی از جهان‌بینی‌ها واگذار کند.

امروز، نظریه سیستم‌های پیچیده یک دستگاہ جهان‌بینی جدید است. این نظریه بر پایه‌ی همه‌ی مشاهدات و دستاوردهای ما در علوم مختلف، اعم از ریاضیات، فیزیک، زیست‌شناسی و روانشناسی ساخته و پرداخته شده است.

اما به همان اندازه که نیوتون، جهان‌بینی داشت و ابزار نداشت، سیستم‌های پیچیده هم تا همین چند سال اخیر از ضعف ابزار رنج می‌بردند.

شاید بتوان گفت رد پاهای دستگاه هستی‌شناسی مبتنی بر سیستم‌های پیچیده، بیش از صد و پنجاه سال است که در نوشته‌ها و تحلیل‌های زیست‌شناسان، فیلسوفان، ریاضیدانان و فیزیکدانان مشاهده می‌شود. اما تا قبل از اختراع و توسعه‌ی کامپیوترها، ابزاری وجود نداشت که بتوان این شیوه‌ی مدل‌سازی جهان را به شکلی دقیق‌تر و کاربردی‌تر، مورد بررسی و ارزیابی قرار داد.

اختراع ماشین‌های محاسبه‌گر و کامپیوترها برای نظریه سیستم‌های پیچیده، تا حد زیادی شبیه اختراع حساب دیفرانسیل و انتگرال برای مکانیک نیوتونی است.

آنچه فعلاً می‌توانیم بگوییم این است که نظریه سیستم‌های پیچیده در این سال‌ها، نوزادی و رشد خود را تجربه می‌کند و درست مانند همان سالهایی که نیوتون فیزیک خود را بنا می‌کرد، امروز نیز این دیدگاه جدید، آخرین دستاورد فکری انسان و ابزاری کافی برای درک قواعد حاکم بر جهان به نظر می‌رسد.

حالا باید ماند و دید که این جهان‌بینی مجهز شده به ابزار، تا چند سال یا چند دهه یا چند قرن، سایه‌ی خود را بر فضای علمی جهان حفظ می‌کند و کدام نگرش تازه، ضعف‌ها و محدودیت‌های آن را آشکار خواهد کرد.

## دو فضای فکری متفاوت برای مواجهه پیچیدگی

می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده، **ابهام علی<sup>۵</sup>** است. به این معنا که نمی‌توان به سادگی، یک رویداد را به یک علت مشخص مربوط دانست و آنها را در فضایی مجرد و جدا از بقیه‌ی سیستم مورد بررسی قرار داد.

نگاهی به میتولوژی یونانی<sup>۶</sup>، می‌تواند به خوبی مشخص کند که انسان کهن در مواجهه با پدیده‌ی پیچیدگی و سیستم‌های پیچیده چگونه عمل می‌کرده است.

<sup>5</sup> Causal Opacity

<sup>6</sup> معمولاً خواننده‌ی ایرانی از اینکه بسیاری از روایت‌های تاریخ اندیشه با یونان آغاز می‌شود، احساس خوبی ندارد. طبیعی است کسی که شوق وطن‌پرستی‌اش بر شوق علمی‌اش غالب باشد، ترجیح می‌دهد که تاریخ در هر زمینه‌ای، از جمله تاریخ علم و مذهب و فلسفه و ریاضیات و نجوم، با کشور خودش آغاز شود. خصوصاً اینکه ما شواهد زیادی داریم که از قدیم‌الایام وجود داشته‌ایم و احتمالاً وجود داشتن را شرط لازم و کافی برای سهم داشتن در حوزه‌های مختلف علوم نیز می‌بینیم.

او برای کاهش ابهام علی، به سراغ خدایان المپ رفته است. مسئولیت رویدادهای آسمانی را به ژئوس سپرده و چالش‌های خانواده را هم به هرا واگذار کرده است. مسافران دریایی را به پوزیدون سپرده تا آنها را به سلامت از دریاها عبور دهد و یا در طوفان خشم خود غرق کند. زمین‌های کشاورزی را هم به دیمتر<sup>۷</sup>، مادر زمین سپرده است و جنگ‌ها را به آرس.

بر این اساس، هم علت طوفان مشخص است و هم زلزله. هم باران علت مشخص دارد و هم خشکسالی. اگر بر اساس آنچه تاریخ روایت می‌کند، کوه‌های المپ نیز چندان آرام و بی‌تنش نبوده‌اند و یونانیان برای اینکه پیچیدگی‌های روی زمین را ساده کنند، دستگاه پیچیده‌ی دیگری در المپ بنا کرده‌اند.

جنگ، حسادت، رقابت و بی‌اخلاقی، تنها بخشی از ویژگی‌های رب‌النوع‌های یونانی بوده و بسیاری از آنچه آنها در زمین می‌دیده‌اند، صرفاً انعکاسی از اختلاف نظرها و تعارض‌های آسمانی بوده است.

شبهه همین شیوه‌ی مواجهه با جهان را در تفکر رومیان هم می‌توان دید. اگر چه این حرف من مطلق نیست، اما المان‌های مشابه یکسان زیادی را می‌توان در میتولوژی دو قوم مشاهده کرد.

ژئوس در روم، نقش خود را به ژوپیتر واگذار کرده و پوزیدون، عملاً جای خود را به نپتون داده است. آرتمیس و دایانا هم شباهت‌های زیادی دارند. اگر چه می‌توان بخشی از این شباهت‌های میتولوژیک را به تعاملات فرهنگی نسبت داد، اما این مسئله را هم نباید از نظر دور بداریم که به هر حال، همه‌ی اقوام، کمابیش با یک سیستم پیچیده دست و پنجه نرم

شک نیست که تمدن کهن ایرانی، دستاوردهای زیادی داشته است. اما لاقل بر اساس شواهد موجود، بیشتر آنچه وجود داشته به مدیریت لشکریان، کشورگشایی، خراج‌خواهی، توزیع منابع محدود خصوصاً آب و نیز سنت‌های عمومی و تعاملات اجتماعی باز می‌گردد.

از سوی دیگر، در گفتگوها و درد و دل‌های عامیانه، رایج است که حمله‌های مختلف به ایران از جمله حمله‌ی مغول‌ها را بهانه می‌کنند تا بگویند که قبل از آن، همه چیز از فرهنگ و هنر و علم و دانش و فلسفه وجود داشته و ناگهان، آمدند و کشتند و سوختند و بردند و رفتند و ما ماندیم و این تاریخ ساکت و خالی سلسله‌های کهن. گذشته‌ای که ظاهراً جنبه‌ی کشورگشایی و سنت اجتماعی و عمران و کارهای سیویل و مهندسی‌اش، بسی مانا تر و شاخص‌تر از جنبه‌های دیگرش بوده است.

شواهد تاریخی در این زمینه کم نیست. مطالعات کسانی مانند بوعلی در کتاب شفا، مشخصاً نشان می‌دهد که او هم در آن زمان، در حوزه‌های متعدد (از جمله منطق) منبعی ارزشمندتر از اندیشه‌ی یونانی به عنوان زیربنای مدل فکری خود نیافته و این مسئله را نیز صریحاً مورد تاکید قرار داده است. اگر چه بعداً می‌بینیم که در کتابی مانند اشارات و تنبیهات، آراء شخصی خود را نیز مطرح می‌کند.

به هر حال، به نظر می‌رسد در تاریخ مکتوب بشر، قدیمی‌ترین قومی که می‌بینیم به صورت **نقادانه** به بررسی خود و فرهنگ خود و تحلیل ذهنیت و مدل ذهنی خود پرداخته‌اند، یونانیان بوده‌اند. این صرفاً به سقراط و افلاطون و ارسطو مربوط نمی‌شود و این نوع نگرش نقادانه را با وجود همه‌ی ابهام‌های تاریخی، در کارهای پروتاگوراس و دیگران هم می‌توان مشاهده کرد. قبل از آنان، اگر چه کتاب و نوشتن در فرهنگ‌های مختلف رواج داشته است، اما کاربرد عمده‌ی آن، نامه نگاری، نصیحت‌های اخلاقی و بعضاً آموزش‌های مذهبی بوده است. به تعبیری، نوشته‌ها عمدتاً از جنس اطلاع رسانی و دستوری بوده‌اند و نه تحلیلی و انتقادی.

<sup>7</sup> دیمتر (Demeter) یا The Mother، الهه‌ی مادر است. تشابه آوایی بین مادر در زبان ما و دیمتر را به سادگی می‌توان حس کرد.



می‌کرده‌اند و با توجه به اینکه مکانیزم یکسانی را برای تحلیل آن سیستم انتخاب کرده‌اند، چندان دور از ذهن نیست که معادلاتشان، به پاسخ‌های نسبتاً مشابهی هم منتهی شده باشد.

شیوه‌ی یونانی در نگرش به سیستم‌های پیچیده، که اوج آن را می‌توان در مَثَل افلاطونی دید، برای ساده کردن یک سیستم پیچیده، پیچیدگی‌ها را به سیستم دیگری منتقل می‌کرده است.

افلاطون، با استعاره‌ی غارنشینان و سایه، اگر چه تا حد زیادی رقص سایه‌های روی دیوار را توضیح داد و احتمالاً از این کار احساس غرور هم کرده است، اما حالا ما را با موجودات دیگری بیرون غار مواجه کرد که نه تنها، دور از دسترس‌تر بودند، بلکه پیچیده‌تر هم بودند. چنان پیچیده که سایه‌ی آنها چنین جهان پیچیده‌ای را برای ما ایجاد کرده است.

روبروی این نگرش فرافکنانه<sup>۸</sup> یونانی، نگرش فروکاهنده<sup>۹</sup> اتمیستی است.

نخستین روایت‌های ثبت شده‌ی نگرش اتمیستی را هم، باید در یونان باستان و به طور خاص نوشته‌های دموکریتوس جستجو کرد. به عبارتی، نگرش اتمیستی هم در یونان باستان قدمتی به اندازه‌ی نگرش میتولوژیک آنها دارد. اگر چه نگرش اتمیستی یونان باستان، در ظاهر شباهت‌های زیادی با نگرش اتمیستی قرن نوزدهم دارد، اما نباید تفاوت‌های کلیدی آنها را فراموش کنیم. بحثی که در آینده در جای خود مورد توجه قرار خواهیم داد.

برای کسانی که فرصت مطالعه‌ی مستقیم آثار کلاسیک یونان را ندارند، مطالعه‌ی کارهای جانانان بارنز<sup>۱۰</sup> می‌تواند بسیار مفید باشد. توضیحات بارنز در مورد دموکریتوس و افکار او شگفت‌انگیز است<sup>۱۱</sup>. دموکریتوس در قرن پنجم قبل از میلاد، کتاب‌های متعددی تالیف کرده که از جمله‌ی آنها می‌توان به درباره‌ی طبیعت انسان، درباره‌ی جسم (در دو جلد)، درباره‌ی حس‌های ما، درباره‌ی طعم‌ها، درباره‌ی بوها، درباره‌ی گیاهان و درباره‌ی حیوانات اشاره کرد.

متأسفانه بخش قابل توجهی از کارهای دموکریتوس به دست ما نرسیده است و غیر از بازمانده‌های کتابهایش، سایر بخش‌های نوشته‌هایش را در نقل‌هایی که کتابهای کهن دیگر از آن کتاب کرده‌اند خوانده‌ایم.

<sup>8</sup> معمولاً ما فرافکنی را معادل Projection در نظر می‌گیریم. اما من می‌خواستم واژه‌ای متضاد فروکاهیدن داشته باشم و دیدم که متأسفانه واژه‌های موجود مانند Antireductionism یا Holism اختلال معنایی جدی به وجود می‌آورند. به نظرم فرافکنی برای تبیین نگرش میتولوژیک، ترجمه‌ی خوبی است. اگر می‌خواستم در انگلیسی واژه‌ای مناسب‌تر و دقیق‌تر مورد استفاده قرار دهم، احتمالاً Inductionism را انتخاب می‌کردم.

<sup>9</sup> Reductionist

<sup>10</sup> Johnathan Barnes

<sup>11</sup> Barnes, J. (1987). Early Greek philosophy (pp. 203-253). Harmondsworth, Middlesex, England: Penguin Books.

دموکریتوس معتقد بود که جهان از اتم و تَهی ذرات<sup>۱۲</sup> ساخته است. او می‌گفت تمام عالم هستی از اتم ساخته شده است. اتم‌هایی که در آشوب<sup>۱۳</sup> به سر می‌برند و گاهی به هم برخورد می‌کنند و مجموعه‌های بزرگتر را می‌سازند. او زمین و همه‌ی زمینیان را حاصل این برخوردها و اتصالات اتم‌ها می‌دانست.

دموکریتوس همچنین به وجود جهان‌های متعدد باور داشت. او می‌گفت جهان‌های زیادی وجود دارند که برخی در حال رشد هستند و برخی در حال زوال. برخی ماه و خورشید ندارند. اما برخی دیگر، تعداد زیادی ماه و خورشید دارند. او می‌گفت در دنیای اتمی هر چیزی آغاز و پایانی دارد و دنیای ما هم ممکن است در برخورد با دنیای اتمی دیگری، نابود شود و به پایان برسد.

حتی قبل از اینکه بارنز برای ما توضیح بدهد، می‌توانیم موضع افلاطون را در مورد دموکریتوس حدس بزنیم. افلاطون می‌گفت که ای‌کاش کلیه‌ی کتابهای دموکریتوس سوزانده شود. او می‌گفت: چگونه دموکریتوس می‌تواند خودش را قانع کند که این همه شکل و زیبایی، صرفاً در اثر ترکیب ذرات اتم درست شده باشند.

---

<sup>12</sup>تهی ذرات را من ساختم تا به جای واژه‌ی Void از خلاء استفاده نکنم. چون خلاء آنچنان که دموکریتوس می‌گفت با آنچه ما می‌گوییم و می‌فهمیم فرق دارد. از نظر دموکریتوس و بسیاری از دانشمندان کلاسیک، فضای تهی و خلاء نمی‌توانست وجود داشته باشد. در نگاه آنها، «هیچ» نمی‌تواند وجود داشته باشد. همان باوری که باعث شد تا قرن‌ها بعد که خوارزمی، استفاده از عدد صفر را رواج داد، یونانیان حتی عدد صفر هم نداشته باشند. بنابراین تهی ذره یا Void، یک ذره است که فضای خالی بین اتم‌ها را ایجاد می‌کند.

<sup>13</sup>خائوس یا Chaos