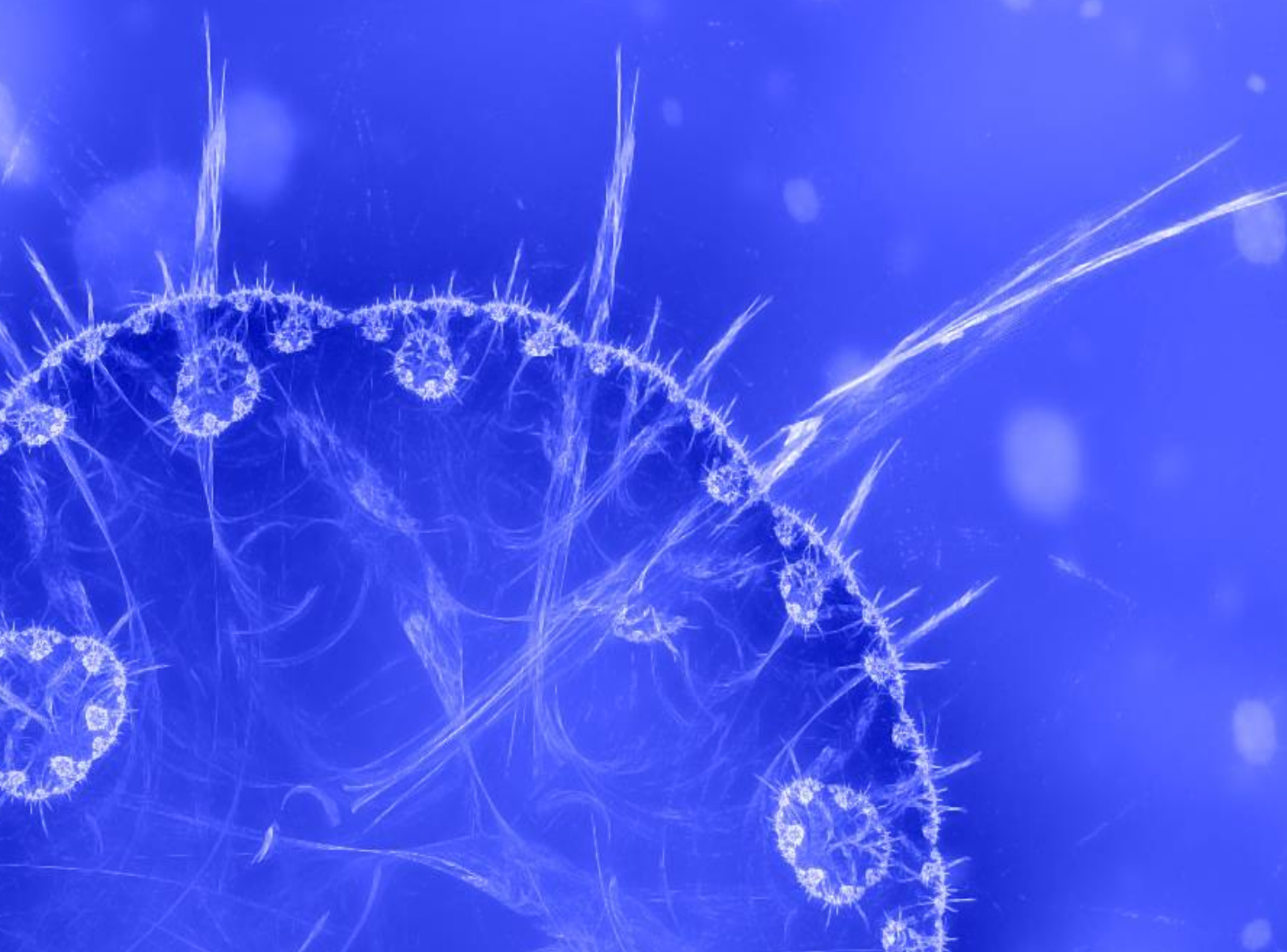


مقدمه‌ای بر

سیستم های پیچیده

محمد رضا شعبانعلی



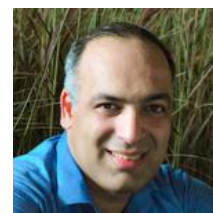
تقديم به نخستين موجودى كه روزى در درونش،
جهان را چيزى متفاوت از آنچه بود تصور كرد.
و پس از آن روياء، از خود پرسيد:
پس چرا دنيا آن گونه نيست؟

و نيز،

تقديم به همهمى موجوداتى كه پس از او،
سعى كردند پاسخى براى آن سوال بيابند.



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 کره‌ای 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^۱ به کار می‌برد مورد استفاده قرار می‌دهم. او در کتاب چگونه یک ذهن بسازیم^۲، 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^۳ 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^۴ 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

^۱ Ray kurzweil

^۲ Kurzweil, R. (2013). How to create a mind: The secret of human thought revealed. New York, NY: Penguin Books.

^۳ Scientific Method

^۴ 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 دستگاه 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 دستگاه‌های 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 دستگاه جهانی 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.

به چه سیستمی، یک سیستم پیچیده می‌گویند؟

قاعدتاً قبل از اینکه بحث جدی در مورد پیچیدگی و سیستم‌های پیچیده را آغاز کنیم، منطقی است تعریفی از یک سیستم پیچیده ارائه دهیم.

البته باید این واقعیت را بپذیریم که تعریف دقیق پیچیدگی (حداقل به شکل کمی) ساده نیست. ما می‌دانیم که پیچیدگی، یک کمیت دو وضعیتی نیست که بتوانیم به سادگی بگوییم این سیستم، پیچیده است و آن سیستم پیچیده نیست. بلکه پیچیدگی یک طیف است و هر سیستمی، در جایی از این طیف قرار می‌گیرد.

اتفاقاً اگر بتوانیم به شکلی دقیق و بر پایه‌ی یک روش ریاضی، شیوه‌ای برای سنجش میزان پیچیدگی یک سیستم پیشنهاد کنیم، می‌توانیم بگوییم که به یک منزلگاه مهم در مسیر دانش پیچیدگی - یا حداقل به پایان این کتاب - رسیده‌ایم.

بنابراین، آنچه در اینجا مرور می‌کنیم صرفاً چند ویژگی از میان انبوه ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده است تا بتوانیم به تدریج در ادامه، بحث را از شکل کیفی به شکل کمی تبدیل کنیم.

با توجه به اینکه تعریف سیستم‌های پیچیده نیز، خود کار پیچیده‌ای است، بهتر است هنگامی که تعریف سیستم‌های پیچیده را مطالعه و بررسی می‌کنید، چند نمونه از سیستم‌های پیچیده را در ذهن داشته باشید. برای این کار، از میان انبوه مثال‌های قابل تصور، ارگانیسم‌ها، انسان، مغز انسان، جامعه‌ی انسانی، سازمان‌ها، اکوسیستم‌های طبیعی، یک موجود تک سلولی، بازار بورس، گله‌ی حیوانات و نیز کل جهان، نمونه‌های مناسبی از سیستم‌های پیچیده محسوب می‌شوند.

قبل از اینکه تعریف‌ها و توصیف‌ها و ویژگی‌ها را مرور کنیم، مناسب است که نکته‌ی دیگری را هم مد نظر قرار دهیم:

برخی از تعریف‌های سیستم‌های پیچیده، به سراغ ساختار این سیستم‌ها می‌روند و برخی دیگر، رفتار این سیستم‌ها را تشریح می‌کنند.

شاید مثال زیر، تفاوت این دو رهیافت را بهتر نمایش دهد.

مثال توصیف بر اساس رفتار در مقابل توصیف بر اساس ساختار	
موضوع: انسان	
رفتار	ساختار
• انسان موجودی است که می‌تواند گذشته را به خاطر بسپارد و خاطرات گذشته‌اش بر روی انتخاب‌های امروزش تاثیر می‌گذارند. • انسان موجودی است که حرف می‌زند و می‌تواند افکارش را به کلمات تبدیل کند. • انسان از کلمات برای انتقال اطلاعات خود به سایر هم‌نوعانش استفاده می‌کند. • عمر انسان‌ها به ندرت از صد سال فراتر می‌رود.	• انسان موجودی است که دو پا دارد. • دو دست دارد. • بدن این موجود پس از بلوغ، چیزی در حدود سی تا چهل هزارمیلیارد سلول دارد. • قد او به ندرت از دو متر فراتر می‌رود. • اندام‌های جنسی او حدوداً در میانه‌ی ارتفاع بدنش قرار گرفته‌اند. • بین ۵۰ تا ۶۵ درصد از وزن او را آب تشکیل می‌دهد.

واضح است که ویژگی‌های رفتاری هم، به هر حال در ویژگی‌های ساختاری ریشه دارند. با این حال، در سیستم‌های پیچیده، گاهی اوقات تشخیص ویژگی‌های رفتاری ساده‌تر است و گاهی اوقات، در مورد ویژگی‌های ساختاری می‌توان ساده‌تر اظهار نظر کرد. بنابراین، تقسیم‌بندی فوق، اگر چه یک مرزبندی دقیق نیست، اما می‌تواند مفید باشد.

اگر تقسیم‌بندی فوق را مد نظر داشته باشید و کتابها و مقالات مربوط به سیستم‌های پیچیده را مرور کنید، بسیاری از تعریف‌ها و توصیف‌ها را می‌توانید به سادگی در یکی از دو دسته‌ی **ساختاری** یا **رفتاری** طبقه‌بندی کنید.

توصیفات ساختاری سیستم‌های پیچیده

معمولاً در توصیف ساختاری سیستم‌های پیچیده، به تعداد بسیار زیاد اجزا، تعامل پیچیده و گسترده‌ی آنها و نیاز سیستم به باز بودن و تامین منابع از بیرون، برای بقاء اشاره می‌شود.

من مورد سوم را به خاطر بحث‌هایی که در ادامه‌اش باید مطرح شود، به جای دیگری در این کتاب موکول می‌کنم. اما دو مورد اول را در اینجا با هم به صورت بسیار مختصر مرور می‌کنیم.

تعداد المان‌های بسیار زیاد

یکی از نخستین ویژگی‌های ساختاری سیستم‌های پیچیده، **تعداد المان‌های بسیار زیاد** است. همین‌جا هم حق دارید پرسید که «بسیار زیاد»، دقیقاً به چه معناست و از چه عددی بیشتر را می‌توان «بسیار زیاد» در نظر گرفت؟

زمانی که به بحث فرمول‌بندی سیستم‌های پیچیده برسیم، خواهیم دید که تعداد «زیاد» یا «بسیار زیاد» نیز، صرفاً در مقایسه‌ی سیستم‌ها با یکدیگر معنا پیدا می‌کند.

شما به عنوان یک سیستم پیچیده که خواننده‌ی این نوشته نیز هستید، یک جامعه‌ی سی و هفت هزار میلیاردی از سلول‌ها هستید. از سوی دیگر، تعداد مولکول‌های یک قطره آب، میلیاردها برابر بیشتر از تعداد سلول‌های شماست. با این حال، به نظر می‌رسد شما نسبت به یک قطره آب، موجود پیچیده‌تری باشید.

همچنین، رفتارهای یک جامعه‌ی هشتاد میلیون نفری، الزاماً از رفتارهای یک گروه هزار نفری پیچیده‌تر نیست. چه بسا شما بتوانید بسیاری از رفتارها و ویژگی‌های یک جامعه هشتاد میلیون نفری را پیش‌بینی و تحلیل کنید، اما در تحلیل و پیش‌بینی رفتارهای یک گروه هزارنفری ناتوان باشید.

بنابراین، فعلاً می‌توانیم در این مرحله بپذیریم که در سیستم‌های پیچیده، تعداد المان‌ها در حدی زیاد است که ناظر، به سادگی نمی‌تواند تک تک تعامل‌ها و رفتارها را مورد بررسی قرار داده و سهم هر یک از المان‌ها را در رفتار کل سیستم به شکل دقیق و مطلق پیش‌بینی کند.

تعداد المان‌ها در سیستم‌های پیچیده، عموماً در حدی است که حذف یکی از آنها (یا حتی گاهی بخشی از آنها)، خلل جدی در عملکرد کل سیستم ایجاد نمی‌کند.

البته در اینجا هم باید مجدداً بپذیریم که بسیاری از این توصیفات، مطلق نیستند. مثلاً وقتی از یک اکوسیستم، به عنوان نمونه‌ای از یک سیستم پیچیده صحبت می‌کنیم، برخی از گونه‌ها، به عنوان گونه‌های کلیدی یا سنگ بنا⁵ شناخته می‌شوند که حذف آنها می‌تواند ساختار اکوسیستم را متزلزل کرده و یا لاقل سیستم را به سمت یک نقطه‌ی پایدار کاملاً جدید سوق دهد.

جالب اینجاست که در نگاه اول، برای کسی که یک اکوسیستم را به خوبی نمی‌شناسد، ممکن است تشخیص این گونه‌های کلیدی دشوار باشد. مثلاً شاید برایتان جالب باشد که مرجان‌ها، خرس‌ها، ستاره‌های دریایی، فیل‌ها و حتی مرغ مگس‌خوار از جمله‌ی گونه‌های کلیدی در اکوسیستم کروی زمین محسوب می‌شوند.

به عبارتی، ممکن است اثر حذف نیمی از جمعیت مرغ‌های مگس‌خوار بر اکوسیستم کروی زمین، بیشتر از اثر ناشی از حذف تمام گاوها باشد.

در سیستم‌های پیچیده‌ی اقتصادی هم می‌توان چالش تشخیص گونه‌های کلیدی را مشاهده کرد. مثلاً اتفاقی که در اوایل قرن بیستم تحت عنوان کمونیسیم در جهان روی داد، به نوعی حاصل تشخیص نادرست نقش کارآفرینان و نیز سرمایه‌داران در اکوسیستم اقتصادی جهان بود.

کارگران، از گونه‌ی دیگر (کارآفرینان و سرمایه‌داران) ناراضی بودند. آنها می‌دیدند که آن گونه، در موارد بسیار زیادی، اخلاقی عمل نمی‌کند و بقای سیستم و منافع گونه‌ی خود را به نیازها و اولویت‌های کارگران، ترجیح می‌دهد. کارگران که خود را گونه‌ی کلیدی در این اکوسیستم می‌دانستند، تصمیم به حذف گونه‌ی دیگر گرفتند و حاصل آن شد که دیدیم. سیستم‌های اقتصادی از توزیع نابرابر ثروت به سمت توزیع برابر فقر حرکت کردند و فساد و عقب‌ماندگی هم، به دردها و چالش‌های قبلی، یعنی تبعیض و رفتارهای غیرانسانی با کارگران افزوده شد.

به هر حال از این بحث، کافی است این دو نکته را به خاطر داشته باشیم:

⁵ Keystone Species

- نکته‌ی اول اینکه در سیستم‌های پیچیده، تعداد اجزا در حدی زیاد است که حذف یکی از اجزا یا بخش کوچکی از اجزاء، به احتمال زیاد خللی جدی در عملکرد کل سیستم ایجاد نمی‌کند.
- نکته‌ی دوم هم اینکه با وجود نکته‌ی اول، همچنان می‌توان از **بخش‌های کلیدی** یا **اجزای کلیدی** حرف زد. المان‌هایی که حذف یا تغییر آنها، می‌تواند اثرات بزرگ و محسوسی بر مسیر حرکت و زندگی کل سیستم بگذارد. اگر چه تشخیص بخش‌های کلیدی همیشه ساده نیست.

تعامل گسترده اجزا با یکدیگر

ویژگی دوم در ساختار سیستم‌های پیچیده، تعامل گسترده‌ی اجزا با یکدیگر است. این تعامل، صرفاً به صورت زنجیره‌ی خطی نیست. چون زنجیره‌ی خطی، هر چقدر هم که طولانی باشد، قابل ارزیابی و تحلیل است. پیچیدگی در سیستم‌های پیچیده، معمولاً از جایی آغاز می‌شود که این زنجیره‌های تعامل، در هم گره می‌خورند. به عبارتی:

- یک المان تنها از یک المان دیگر اثر نمی‌پذیرد و چند المان به صورت هم‌زمان بر روی آن اثر می‌گذارند. همچنین هر المان نیز، خود ممکن است بر روی تعدادی از المان‌ها (و نه صرفاً یک المان) تاثیر گذار باشد.
- زنجیره‌ی اثرگذاری در بخش‌های متعددی از سیستم به یک حلقه تبدیل می‌شود. یعنی اقدام یا رفتار یا ویژگی یک المان، پس از طی چند مرحله (یا چند میلیون یا چند میلیارد مرحله) نهایتاً بر روی خود آن المان هم، تاثیر می‌گذارد.

اگر مواردی را که به عنوان مثال‌های سیستم پیچیده در ابتدای بحث مطرح شد به خاطر داشته باشید، در همه‌ی آنها می‌توانید این تعامل گسترده و درهم‌تنیده را ببینید.

قرار نیست حتماً سیستم‌های ارگانیک و ارگانیسم‌ها را در نظر بگیریم. شکل حرکت دود در هوا هم نمونه‌ای از همین جنس تعامل گره خورده‌ی المان‌ها با یکدیگر است.

حرکت دود در هوا، شکل پیچیده‌تر حرکت براونی است. حرکتی که رابرت براون هنگام مشاهده‌ی گرده‌های گل معلق در آب در زیر میکروسکوپ مورد توجه قرار داد و بعداً اینشتین در سال ۱۹۰۵ در یک مقاله، به شرح دقیق علت شکل‌گیری آن پرداخت.^۶

⁶ Einstein, A., & Fürth, R. (1956). Investigations on the theory of Brownian movement. New York, NY: Dover Publications.

در حرکت براونی، ما شاهد یک سیستم پیچیده هستیم که بخش زیادی از اجزای آن، مولکول‌های کوچکی هستند که ما آنها را نمی‌بینیم. اما بخش دیگری از سیستم هم، ذرات بزرگتری هستند که حرکت آنها، قابل مشاهده و ردیابی است. مولکول‌ها دائماً با یکدیگر برخورد می‌کنند و با آن ذرات بزرگ‌تر هم برخورد می‌کنند و ذرات هم حرکت می‌کنند و دوباره موقعیت مولکول‌ها را تغییر می‌دهند و حاصل این سلسله تعامل در هم تنیده، چیزی است که ما به عنوان حرکت گرده‌ی گل یا حرکت دود در هوا می‌بینیم.



حرکت براونی دود در هوا را می‌توان حاصل تعامل گسترده و درهم‌تنیده‌ی تعداد زیادی از مولکول‌ها (به عنوان المان‌های یک سیستم پیچیده) دانست.

جالب اینجاست که برای بسیاری از این تعامل‌ها، نمی‌توان به سادگی **آغاز و انجام** مشخص کرد. معلوم نیست که نقطه‌ی آغاز کدام حرکت بوده و نیز مشخص نیست که حرکت یا رفتاری هم که در این لحظه مشاهده می‌شود، چه رفتارهای دیگری را برخواهد انگیزد.

برای این تعامل‌ها، عموماً **سهم مشخص** هم قابل تعریف نیست. مولکولی آبی که اکنون به یک گرده‌ی گل تنه می‌زند و آن را تکان می‌دهد، نمی‌داند که چه سهمی از تکانه‌ای را که اکنون حمل می‌کند، در اثر برخورد قبلی خود با گرده‌ی گل، و برخوردهایی که در ادامه، گرده‌ی گل با مولکول‌های دیگر در اطراف او داشته است، کسب کرده است.

ماجرای کلاسیک مرغ و تخم مرغ، تنها نمونه‌ای از یک سیستم پیچیده است که عقل سلیم، صرفاً «وجود داشتن» آن را می‌پذیرد و به پرورش مرغ و استفاده از تخم مرغ می‌پردازد و عقل ضعیف، احتمالاً سالها حیرت زده، غرق معمای شگفت مرغ و تخم مرغ باقی خواهد ماند.

توصیفات رفتاری سیستم‌های پیچیده

تا جایی که من در بررسی‌هایم مشاهده کردم، تا به امروز، مسیرهای زیر از رایج‌ترین مسیرهایی بوده‌اند که به دانش پیچیدگی و سیستم‌های پیچیده منتهی شده‌اند:

- فیزیک و شیمی
- زیست‌شناسی
- نظریه آشوب
- علوم اجتماعی
- نظریه اطلاعات
- هوش مصنوعی

جالب اینجاست که دانشمندان هر رشته، بر حسب سوابق و چارچوب فکری و دغدغه‌های خود، بعضاً ویژگی‌های رفتاری متفاوتی را برای سیستم‌های پیچیده پیشنهاد کرده‌اند و می‌کنند.

من در اینجا، بدون اینکه بگویم ویژگی‌ها را بر اساس خاستگاه آنها تفکیک کنم، برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده را به صورت مختصر مورد اشاره قرار می‌دهم.

در قسمت‌های بعدی کتاب، هر یک از این ویژگی‌ها را به تفصیل مورد بررسی قرار خواهیم داد.

ابهام علی^۷

نیکل گولدن فلد^۸ رفتار پیچیده را به شکلی ساده اما زیبا تعریف می‌کند: پیچیدگی از جایی شروع می‌شود که علیت و بحث رابطه‌ی علت و معلول، در شرح آنچه روی داده است، ناتوان می‌ماند.

^۷ Causal Opacity

^۸ Nigel Goldenfeld

^۹ Editorial. No man is an island. Nature Physics, 5:1, 2009

توجه داشته باشید که در اینجا، بحث بر سر این نیست که رابطه‌ی علی وجود دارد یا ندارد. بحث در این است که ما به عنوان ناظر، نمی‌توانیم با قوای تحلیلی خود برای آنچه روی می‌دهد، یک علت قطعی و واضح و منحصر به فرد را مشخص کنیم.

حتی اگر کلیه‌ی علت‌های موجود را هم بدانیم و فهرست کنیم، در تعیین و برآورد سهم هر یک از آنها، ناتوان خواهیم بود.

طوفان به عنوان یک پدیده‌ی پیچیده
طوفان می‌آید و در مسیر خود، خانه‌ها و خانه‌نشین‌ها را نابود می‌کند و به زیرساخت‌های شهری آسیب می‌زند. مجموعه‌ی گسترده‌ای از خسارات به وجود می‌آید. به هر حال، طوفان یک اتفاق کاملاً طبیعی است و ما با دانش امروز خود، ریشه‌های آن را می‌دانیم. اما نمی‌توانیم سهم آنها را مشخص کنیم یا بگوییم نقطه‌ی شروع این طوفان در کدام نقطه از زمان و مکان بوده است. حرف ادوارد لورنز که بعداً به اثر پروانه‌ای هم مشهور شد و از فضای علمی به فضای داستان‌ها و افسانه‌ها هم وارد شد همین است. علت‌های ریز و کوچکی که زنجیره‌ای از اتفاق‌ها را به وجود می‌آورند و زنجیره‌هایی که دست در دست هم می‌دهند و در نهایت رویدادی به وقوع می‌پیوندد. این همان چیزی است که به آن، ابهام علی می‌گویند.

همچنانکه قبلاً هم تأکید کردم، در اینجا نقش ناظر بسیار مهم است. در گذشته‌های بسیار دور، چنین طوفانی یک مسئله‌ی پیچیده محسوب می‌شده است. بعد، مثلاً در یونان باستان، می‌بینیم که این مسئله‌ی پیچیده حل می‌شود و مشخص می‌شود که خشم زئوس رعد و برق و سپس طوفان را برانگیخته است. البته اگر طوفان در آب باشد، ناشی از خشم پوزیدون است که احتمالاً خاطرات تقسیم قلمرو را به خاطر آورده و به اینکه زئوس همه‌ی آسمان‌ها و زمین را برای خود برداشته، اعتراض می‌کند.

در اینجا می‌بینیم که سیستم پیچیده، به یک سیستم ساده تبدیل می‌شود و مسئله برای یونانیان باستان حل می‌شود.

نزدیک به هزار سال بعد، در دوران اوج تمدن اسلامی، می‌بینیم که کسانی مانند ابوریحان بیرونی، بوعلی سینا، خوارزمی و دیگران، این نوع ساده‌انگاری‌ها را کنار می‌گذارند و دوباره به بررسی علمی رویدادها و اتفاقات می‌پردازند.¹⁰

حالا می‌بینیم که با تغییر ناظر و در واقع با تغییر دانش و نگرش ناظر، مسئله‌ی طوفان (یا هر مسئله‌ی مشابه دیگر) که قبلاً در یک نظام شفاف علی - وابسته به کوه‌های المپ - حل شده بود، به یک پدیده‌ی فیزیکی تبدیل می‌شود و این بار، به عنوان یک پدیده‌ی پیچیده مورد توجه قرار می‌گیرد.

مروری کوتاه بر تاریخ توسعه‌ی علم نشان می‌دهد که ما انسان‌ها، هر زمان پیچیده بودن یک پدیده را پذیرفته‌ایم، اتفاقاً دستاوردهای ارزشمندتری در شناخت آن پدیده داشته‌ایم و هر بار، متوجه پیچیدگی یک پدیده نشده‌ایم، با توضیحات ساده‌انگارانه، از شناخت و دریافت ساختار دقیق آن پدیده، دور شده‌ایم.

روابط انسانی به عنوان یک پدیده‌ی پیچیده
مدیران یا کارکنان یک سازمان، در صورتی که روابط انسانی را به عنوان یک پدیده‌ی پیچیده نبینند، احتمالاً «علت واحد» و یا «علل اصلی و فرعی» و یا «علل‌العلل» رفتار همکاران خود را جستجو می‌کنند. کارمندی را در نظر بگیرید که امروز، با وجود دریافت نامه‌ی دعوت از سوی مدیر خود، در جلسه شرکت نمی‌کند و اتفاقاً در سازمان هم حضور دارد. مدیر ممکن است بسته به سابقه‌های قبلی، برچسب‌های مختلفی بر روی این رفتار بگذارد: اعتراض کردن، ایجاد آشوب، توهین، بی‌توجهی و بی‌دقتی، تنها نمونه‌ای از برچسب‌های این رفتار هستند. اما فراموش نکنیم که برچسب یک رفتار با علت یک رفتار تفاوت دارد. ما گاهی اوقات به اشتباه، رفتارها را برچسب‌گذاری می‌کنیم و هم‌زمان فکر می‌کنیم که علت آن رفتار را هم فهمیده‌ایم. کارمندی که پس از شش سال سابقه‌ی همکاری با سازمان، به چنین شیوه‌ای در جلسه حاضر نمی‌شود - حتی اگر خودش هم نداند یا نتواند شرح دهد - احتمالاً برای چنین تصمیمی، چندین علت خواهد داشت که هر یک، از زنجیره‌ای طولانی از علت‌ها برخاسته‌اند. عمق این زنجیره، الزاماً شش سال هم نیست. دو کارمند که قبلاً در دو سازمان متفاوت کار می‌کرده‌اند، احتمالاً شیوه‌های متفاوتی را برای اعتراض آموخته‌اند و آنچه ما امروز می‌بینیم، ممکن است در خاطراتی ریشه داشته باشد که خود آنها هم امروز، آن خاطرات را آگاهانه به خاطر نمی‌آورند.

¹⁰ قرن دوم و سوم هجری شمسی (حدوداً نهم و دهم میلادی) دورانی است که دانشمندان اسلامی، به صورت گسترده به توسعه‌ی متودولوژی علمی می‌پردازند. به همان اندازه که باید حق یونانیان برای توسعه تفکر نقادانه و نیز فلسفه را به رسمیت شناخت، باید به خاطر داشته باشیم که تمدن اسلامی که بخش قابل توجهی از آن در قلمرو امپراطوری وقت ایران بوده است، به توسعه‌ی روش علمی و مطالعه‌ی روشمند پدیده‌ها پرداخته است.

بحث ابهام علی را فعلاً در همین جا متوقف می‌کنیم تا بعداً به سراغ آن بازگردیم. اما این جمله‌ی کلیدی را فراموش نکنیم که ابهام، همیشه از دید یک ناظر تعریف می‌شود و در یک سیستم پیچیده، ممکن است آنچه برای من مبهم است، برای شما ابهام کمتر یا بیشتری داشته باشد و یا اساساً مبهم نباشد.

قابلیت خودسازماندهی^{۱۱}

از نقدهای متعصبانه که بگذریم، یکی از مهم‌ترین نقدهای علمی که به نظریه‌ی تکامل داروین وارد است، جدی نگرفتن پدیده‌ی خودسازماندهی است.

داروین تمام مسیر رشد و بازآفرینی موجودات را در قالب انتخاب طبیعی می‌بیند. در نگاه داروین، یک نسل از موجودات، از طریق زاد و ولد، ترکیب ژن‌ها و جهش ژنتیکی، نسل بعدی را به وجود می‌آورند و نسل بعدی، با توجه به محدودیت منابع در محیط، با یکدیگر رقابت می‌کنند و آن نمونه‌هایی که با محیط تطبیق بهتری دارند، باقی می‌مانند.^{۱۲}

سیستمی که داروین پیشنهاد می‌کند، بسیار کندتر از واقعیت جهان است و آن را بیشتر می‌توان در مورد سیستم‌های بسیار ساده تصور کرد. هر چه سیستم‌ها پیچیده‌تر می‌شوند، قابلیت آنها در مدیریت و سازماندهی خودشان افزایش می‌یابد.

قانون ولف^{۱۳} تنها نمونه‌ای از این توانایی خودسازماندهی است: استخوان‌های ما وقتی بار بیشتری را تحمل می‌کنند، چگالی آنها به تدریج افزایش می‌یابد. اگر امروز نسل ما بار بیشتر (یا کمتر) را تحمل کند، به عنوان یک سیستم پیچیده می‌تواند خود را با این شرایط تطبیق دهد و لازم نیست ما از طریق زاد و ولد، انبوهی از فرزندان را به وجود بیاوریم تا شاید در میانشان، گونه‌ای به وجود بیاید که تراکم استخوان بیشتر (یا کمتر) داشته باشد.

در اینجا هم ماجرا دو وضعیتی نیست. یعنی ما نمی‌توانیم بگوییم که یک سیستم پیچیده قابلیت خودسازماندهی دارد یا خیر. قابلیت خودسازماندهی هم، یک طیف دارد که اگر چه ابتدای آن تا حدی قابل تصور است، اما انتهایی برای آن قابل تصور نیست.

اما به هر حال، سیستم‌های بسیار پیچیده، از قابلیت خودسازماندهی بسیار بالایی برخوردار هستند. کافی است به مغز انسان فکر کنید که در اثر تعامل با محیط و تجربه‌های بیرونی، اتصالات سیناپتیک خود را تغییر می‌دهد و اصلاح می‌کند و با تغییر این اتصالات نورونی، اطلاعات حاصل از تجربه را برای استفاده‌های بعدی در خود ذخیره می‌سازد.

¹¹ Self Organizing

¹² این مفهوم معمولاً با عنوان Natural Selection و نیز Survival of the fittest مورد ارجاع قرار می‌گیرد.

¹³ Wolff, J. (1986). The law of bone remodelling. Berlin: Springer.

بعداً خواهیم دید که در ادبیات سیستمی، خودسازماندهی را به شکل‌های دقیق‌تری هم تعریف می‌کنند. از جمله اینکه می‌گویند: خودسازماندهی به این معنا است که سیستم‌ها می‌توانند خود را تغییر دهند و از آنچه در محیط‌شان در ارتباط با آنها روی داده است، «یاد بگیرند».

همچنین کسانی که با نظریه‌ی آشوب‌آشنایی دارند، ترجیح می‌دهند خودسازماندهی را به صورت توانایی «باقی ماندن بر روی مرزی بین نظم و آشوب» تعریف کنند. این تعریف‌ها را در آینده با دقت و جزئیات بیشتر مرور خواهیم کرد. البته یک نکته‌ی مهم را نباید فراموش کنیم.

برخلاف ابهام علی که به نوعی، ویژگی مشترک همه‌ی سیستم‌های پیچیده است، خودسازماندهی رفتاری است که فقط در برخی از سیستم‌های پیچیده بروز می‌کند. شاید اگر بخواهیم با وسواس علمی بیشتری بگوییم، باید گفت که توانایی سیستم‌های مختلف در خودسازماندهی یکسان نیست و در برخی سیستم‌های پیچیده، این توانایی در حدی ضعیف است که می‌توان فرض کرد این سیستم‌ها از توانایی خودسازماندهی برخوردار نیستند.

به همین علت، کسانی که در زمینه‌ی سیستم‌های پیچیده کار می‌کنند، گاهی اوقات ترجیح می‌دهند سیستم‌های پیچیده‌ی خودسازمانده را تحت عنوان CAS (مخفف Complex Adaptive System) بررسی کنند و آنها را به عنوان زیرمجموعه‌ای از سیستم‌های پیچیده (یا CS) در نظر بگیرند.

من در این کتاب، چنین تفکیکی قائل نخواهم شد و هر دو واژه را به جای یکدیگر به کار می‌برم. چون به نظر می‌رسد که تطبیق با محیط هم، مفهومی نیست که به صورت مطلق قابل تعریف و سنجش باشد. یا لاقلاً مشاهده‌گر، می‌تواند تعریف‌های بسیار متفاوتی از این ویژگی ارائه دهد و آن را با معیارهای مختلفی بسنجد.

قابلیت همیوستازی (هم‌ایستایی)

علاقمندان به علوم انسانی، همیوستازی^{۱۴} را به عنوان یکی از واژه‌ها و مفاهیم کلیدی در نظریه‌ی سیستم‌ها مورد بررسی قرار می‌دهند.

اما با توجه به اینکه مفهوم همیوستازی ابتدا در زیست‌شناسی مطرح شده و توسعه یافته است، شاید مروری کوتاه بر سابقه‌ی این مفهوم در زیست‌شناسی، کمک کند تا مفهوم و کاربرد آن را در نظریه‌ی سیستم‌ها بهتر درک کنیم.

¹⁴ Homeostasis

قبل از اینکه لغت هومیوستازی توسط آقای والتر کنون^{۱۵} در سال ۱۹۲۶ مطرح شود، مفهوم آن در نیمه‌های قرن نوزدهم توسط یک زیست‌شناس فرانسوی به نام کلاود برنارد^{۱۶} مطرح شد.

برنارد در توصیف هومیوستازی - بدون اینکه از این واژه استفاده کند - چنین می‌گوید^{۱۷}:

موجود زنده، با وجودی که به محیط خود نیاز دارد، به نوعی مستقل از آن نیز هست. این استقلال از این واقعیت ناشی می‌شود که بافت‌ها، به نوعی یک محیط داخلی را شکل داده‌اند و از طریق مایعاتی که در سراسر بدن در گردش است، با هم هماهنگ و همراه می‌شوند و خود را [تا حدی] در برابر اثرات محیطی حفظ می‌کنند.

کار ارزشمند کلاود برنارد این بود که توجه ما را به نکته‌ی بسیار مهمی در سیستم‌ها جلب کرد و آن **یکپارچگی و به وجود آمدن هویت** در یک سیستم بود.

هومیوستازی را **هم ایستایی** هم ترجمه می‌کنند. با این حال فکر می‌کنم اگر بخواهیم از واژه‌های فارسی و عربی موجود، عبارت یا جمله‌ای معادلی برای آن بسازیم، شاید **حفظ تعادل پویای محیط داخلی یک سیستم** تعبیر مناسبی باشد. من در آینده گاهی این مفهوم را به اختصار، **تعادل پویا** خواهم نامید.

تعادل پویا، در مقابل تعادل ایستا قرار می‌گیرد. انسانی که دمای بدن او در سطح ۳۷ درجه‌ی سانتی‌گراد متعادل شده و تغییر چندانی نمی‌کند، با سنگی که در اثر تبادل حرارت در محیط در دمای ۳۷ درجه به تعادل رسیده است، یک تفاوت کلیدی دارد. تعادل سنگ کاملاً ایستا است. اما تعادل انسان پویا است. بدن انسان به صورت پیوسته در تمام لحظات در تلاش است تا دمای خود را حفظ کند.

سنگی که با سرعت ثابت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت هم در خلاء در حال حرکت است، با ماشینی که با استفاده از سیستم کروزکنترل با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت در حال حرکت است، همین تفاوت را دارد.

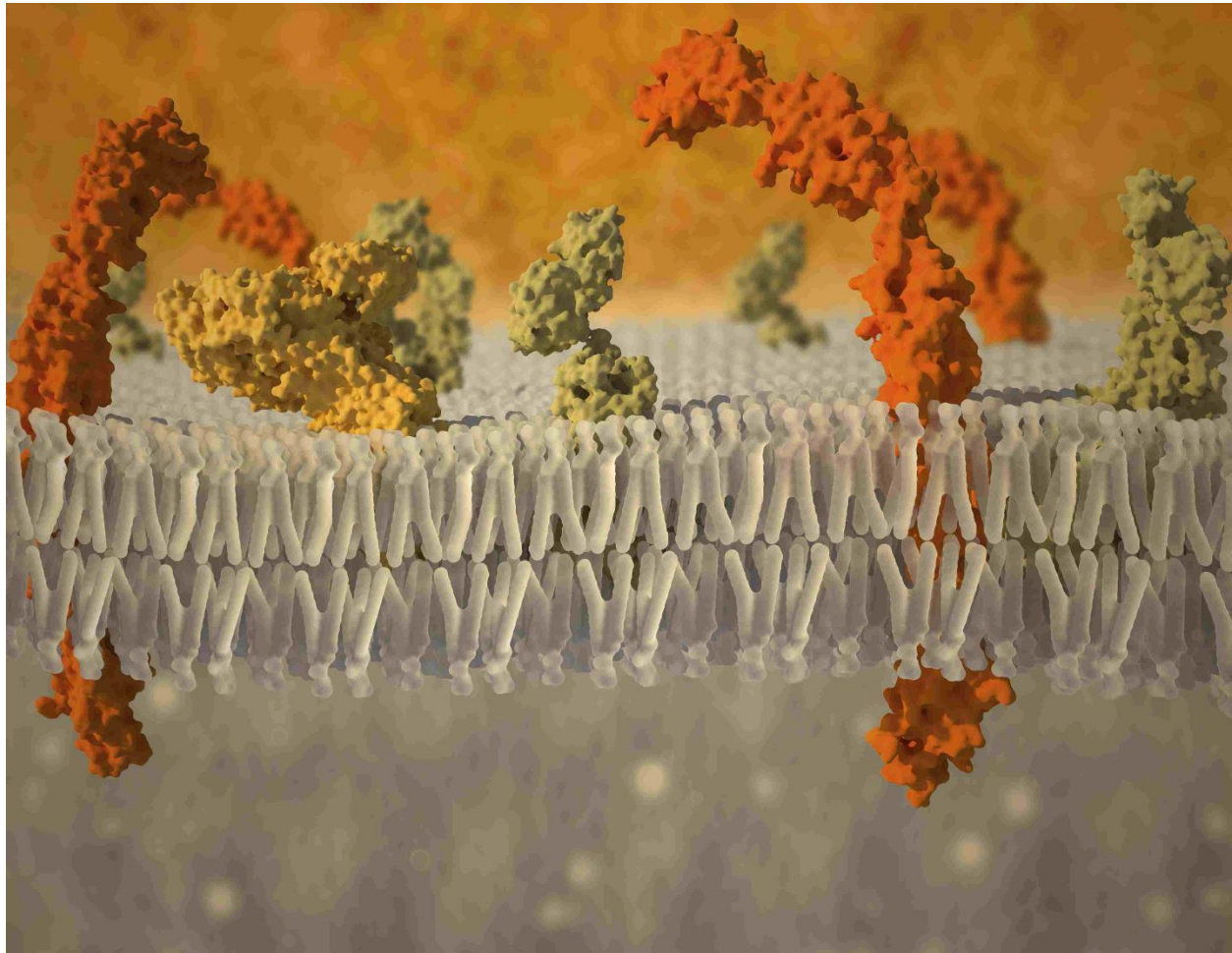
سرعت ثابت سنگ، حاصل تعادل ایستا است اما سرعت ثابت خودرو، دستاورد تعادل پویا است.

¹⁵ Walter Bradford Cannon

¹⁶ Claude Bernard

¹⁷ Johnson, L. R., & Byrne, J. H. (2003). Essential medical physiology (p. 4). Amsterdam: Elsevier Academic Press.

شاید مناسب باشد که در بررسی پدیده‌ی هومیوستازی، اشاره‌ای هم به هومیوستازی در سلول داشته باشیم. می‌دانیم که سلول، با استفاده از غشاء سلولی^{۱۸} که یک دیواره‌ی بسیار نازک دولایه‌ای با ضخامتی در حدود ۷ یا ۸ نانومتر است، محیط داخلی خود را از بیرون جدا می‌کند.



تصویری از غشاء دولایه‌ای سلول

در اینجا به طور قطع می‌توان گفت که محیط درون سلولی^{۱۹} از محیط برون سلولی^{۲۰} متمایز است و غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم و کلر در این دو محیط می‌تواند متفاوت باشد.

هم یون‌ها و هم آب، برای عبور و مرور از محیط بیرونی به محیط داخلی و بالعکس، با مقاومت این دیواره مواجه می‌شوند و به شکلی کنترل شده، با مکانیزم‌هایی مانند دیفیوژن و فشار اسمزی رفع و آمد می‌کنند.

¹⁸ Cell Membrane

¹⁹ Intracellular

²⁰ Extracellular

به نظر می‌رسد که در اینجا واقعاً حق داریم از یک **سیستم** حرف بزنیم. می‌توانیم برای سلول، یک هویت قائل شویم. برای آن مرز ببینیم. می‌توانیم تلاش سلول را برای **حفظ مرزهای فیزیکی و ویژگی‌های شیمیایی**، مشاهده و ارزیابی کنیم.^{۲۱}

هومیوستازی در مورد موجودات سطح بالاتر مانند انسان، می‌تواند پیچیده‌تر باشد. در واقع، چیزی که توجه کلاود برنارد را هم جلب کرد، همین هومیوستازی پیچیده‌ی انسانی بود.

بدن انسان به عنوان یک سیستم پیچیده، می‌کوشد دائماً پارامترهای داخلی عملیاتی متعددی را در یک **تعادل پویا** نگه دارد. حفظ دمای بدن در سطح مشخص، کنترل غلظت یون‌های سدیم و کلسیم و نیز کنترل سطح قند خون، نمونه‌هایی از هومیوستازی در بدن انسان هستند.

در سطوح مختلف سیستم‌های پیچیده، می‌توانید مصداق‌های متفاوتی از هومیوستازی را ببینید. به عبارتی هومیوستازی در سطح سلولی، سطح اندام‌ها، سطح بدن انسان، سطح اجتماعی، سطح کسب و کار و نیز سطح اقتصاد ملی یا جهانی هم قابل تعریف، مشاهده و بررسی است.

بعد از این مثال‌ها و توضیحات، می‌توانیم تعریفی برای هومیوستازی ارائه کنیم:

تعریف هومیوستازی
تعریف ساده‌تر: حفظ یک وضعیت باثبات داخلی در مقابل تغییرات و نوسانات محیطی تعریف دقیق‌تر: تمایل یک سیستم به حفظ پایداری داخلی خود از طریق فعالیت هماهنگ اجزاء سیستم و پاسخ مناسب آنها به نوسانات و محرک‌های بیرونی که می‌خواهند در وضعیت متعارف یا کارکرد متعارف آن سیستم اغتشاش ایجاد کنند.

پیدا کردن مثال‌ها و مصداق‌های هومیوستازی در طبیعت، چندان دشوار نیست. البته همان‌طور که می‌توانید حدس بزنید، هر چه محیط دچار نوسان‌ها و تغییرات شدیدتری بوده، مکانیزم‌های هومیوستازی قوی‌تری هم در موجودات شکل گرفته است. این بحث، نزدیک به همان مفهومی است که نسیم طالب هم، تحت عنوان پادشکنندگی^{۲۲} مورد اشاره قرار می‌دهد.

²¹ در صورتی که به بررسی کمی و عددی رفتار سلول‌ها علاقمند باشید، می‌توانید کتابهایی با عنوان **Mathematical Physiology** را جستجو و مطالعه کنید. این شاخه از علم که در مرز بین ریاضیات و فیزیولوژی قرار گرفته است، به ما کمک می‌کند درک بسیار عمیق‌تری از رفتار سلول‌ها و البته سایر اندام‌های بدن داشته باشیم.

²² Antifragility

کافی است به زندگی در محیط اقیانوس‌ها فکر کنید. نوسان دما در آب بسیار کم است. اگر کمی از سطح آب پایین‌تر برویم، اثرات باد و طوفان و تغییرات شدت نور هم، به طرز محسوسی کاهش خواهد یافت. غلظت نمک تقریباً ثابت است. شناور بودن در آب طبق همان قانون کلاسیک ارشمیدس، وزن را کاهش می‌دهد.

پس شرایط زندگی در آب بسیار بیشتر از خشکی مهیا است. به همین علت است که می‌بینیم برخی از قدیمی‌ترین موجودات روی کره‌ی زمین هم در آب‌ها رشد کرده و تکامل یافته‌اند.

شاید به همین علت است که حدود سه و نیم میلیارد سال است که زندگی بر روی زمین جریان دارد و می‌بینیم که نزدیک به دو میلیارد و نهصد میلیون سال نخست، بیشتر به زندگی تک‌سلولی و عمدتاً هم در آب اختصاص داشته است. موجودات پرسلولی، صرفاً در ششصد میلیون سال اخیر بر روی زمین زندگی کرده‌اند.

حتی در این ششصد میلیون سال هم، شکل‌های اولیه‌ی هومیوستازی بسیار ساده بوده است^{۲۳}. اسفنج دریایی و عروس دریایی نمونه‌ای از موجوداتی هستند که می‌توان با مشاهده‌ی آنها، شکل‌های اولیه‌ی هومیوستازی را مطالعه کرد^{۲۴}.

اگر مفهوم هومیوستازی در سیستم‌ها را به شکلی عمیق درک کرده باشید، احتمالاً پیشنهاد می‌دهید که ویژگی **خودسازمان‌دهی** را به عنوان یکی از مصداق‌های آن در نظر بگیریم و خودسازماندهی را به عنوان یک رفتار هم ارز و هم‌سطح با هومیوستازی در نظر نگیریم.

چنین انتظاری می‌تواند تا حد زیادی معقول و قابل درک باشد.

با این حال، اکثر کسانی که در حوزه‌ی پیچیدگی کار می‌کنند، ترجیح می‌دهند خودسازمان‌دهی را برای **تغییر ساختار و ویژگی‌های سیستم** متناسب با نیاز محیط و هومیوستازی را برای **تلاش سیستم در راستای حفظ ویژگی‌های خود** به رغم تغییرات محیط به کار ببرند.

من هم تصمیم گرفتم مانند اکثر مقالات و کتاب‌های پیچیدگی، هر دو عنوان را در کنار هم مورد استفاده قرار دهم. چون بر این باور هستم که این کار می‌تواند در فصل‌های آینده‌ی کتاب، به بیان ساده‌تر و شفاف‌تر موضوعات و مثال‌ها کمک کند.

²³ دایناسورها کمتر از ۳۰۰ میلیون سال قبل، روی کره‌ی زمین زندگی می‌کرده‌اند.

²⁴ تا مدت‌ها فرض می‌شد که اسفنج دریایی یک گیاه است. اما امروز می‌دانیم که اسفنج، یک حیوان خیلی ابتدایی است. یکی از تفاوت‌های میان حیوانات و گیاهان، به توانایی آنها در تولید اسیدآمینه بازمی‌گردد. گیاهان می‌توانند تمام بیست نوع اسیدآمینه‌ی کلیدی مورد نیازشان را تولید کنند. اما حیوانات، به دلیل اینکه همه‌ی آنزیم‌های مورد نیاز را ندارند، نمی‌توانند همه‌ی اسیدآمینه‌ها را تولید کنند. حیوانات سایر اسیدآمینه‌ای مورد نیاز را از طریق تغذیه به دست می‌آورند. انسان هم از این استقلال گیاهان بی‌بهره است و ۹ مورد از اسیدآمینه‌هایی را که نمی‌تواند تولید کند، از طریق تغذیه به دست می‌آورد.

در فصل‌های آینده، می‌توانیم هومیوستازی را در بورس، جامعه، فرهنگ، اقتصاد و سایر سیستم‌های پیچیده مورد بررسی قرار دهیم.

توانایی رشد و تکامل در مجاورت سایر سیستم‌ها^{۲۵}

از جمله ویژگی‌های دیگر سیستم‌های پیچیده، توانایی تطبیق، تغییر و تکامل در اثر مجاورت و تعامل با سایر سیستم‌های پیچیده است. این ویژگی رفتاری هم از جمله مواردی است که بسیار مورد توجه استوارت کاوفمن بوده است. او مثال می‌زند که وقتی سیستم اتومبیل‌ها تغییر و تکامل پیدا می‌کند، جاده‌ها هم به تدریج تغییر می‌کنند و البته جاده‌ها هم به نوبه‌ی خود، در شیوه‌ی طراحی نسل بعدی خودروها اثر دارند. در اینجا نوعی تکامل ناشی از تعامل^{۲۶} مشاهده می‌شود که مبنای آن کاملاً با تکامل مبتنی بر تقابل و رقابت - که به نام انتخاب طبیعی نیز شناخته می‌شود - متفاوت است.

این ویژگی هم، مانند بسیاری از ویژگی‌هایی که برای سیستم‌های پیچیده مطرح می‌شود، یک ویژگی کاملاً مستقل نیست. لاقال به نظر می‌رسد که این رفتار، چیزی فراتر از ترکیب دو ویژگی **هومیوستازی** و **خودسازمان‌دهی** نیست.

اما مطرح کردن آن به صورت مستقل، می‌تواند روشن‌گرانه باشد. چون کم نیستند کسانی که تکامل سیستم‌های پیچیده را صرفاً در رقابت و حذف سیستم‌های ضعیف‌تر می‌بینند. حال آنکه در اینجا، تاکید بر این است که گاه، سیستم‌های پیچیده در اثر مجاورت با یکدیگر، بدون اینکه جا را برای دیگری تنگ کنند یا به رقابت برای جذب منابع محدود برخیزند، می‌توانند رشد و تکامل پیدا کنند.

ظهور و پدیدار شدن ویژگی‌های جدید^{۲۷}

فکر می‌کنم، برای توضیح مفهوم **ظهور** یا **پدیدار شدن**، بهتر است قبل از تعریف‌های رسمی، به سراغ یک مثال بروم. این مثال کلاسیک، می‌تواند ادای احترام به بولتزمن^{۲۸} هم محسوب شود. کسانی که فیزیک خوانده‌اند، احتمالاً بولتزمن را با ثابت بولتزمن که به نوعی، رابطه‌ی بین انرژی جنبشی یک مولکول گاز و دمای آن گاز را بیان می‌کند به خاطر می‌آورند.

²⁵ Coevolution

²⁶ Interaction-based evolution

²⁷ Emergence

²⁸ لودیگ بولتزمن، از پیشگامان نظریه‌ی اتمی مدرن و دانش مکانیک آماری است. همکاران بولتزمن، شیوه‌ی نگرش او را چندان درک نمی‌کردند. بولتزمن وقت قابل توجهی را برای برگزاری سمینار و تبلیغ نظریاتش در دانشگاه‌های مختلف صرف کرد. اما در یافتن افراد هم‌زبان و هم‌فکر ناموفق بود و نهایتاً خودکشی کرد. راه بولتزمن را دانشجوی دکترای او پاول ارنِست ادامه داد و برای توسعه مکانیک آماری تلاش کرد. ارنِست هم نهایتاً با شلیک گلوله به مغز خود، به زندگی‌اش پایان داد. آلبرت اینشتین و نیلز بور، رابطه‌ی بسیار نزدیکی با ارنِست داشتند و گاه، در خانه‌ی او در مورد نظریه‌ی کوانتوم بحث

به دمای اتاقی که الان در آن هستید فکر کنید. فرض کنید دمای اتاق ۲۱ درجه‌ی سانتی‌گراد است. منظور من از دمای اتاق، عملاً دمای هوای محبوس داخل اتاق است. حالا من از شما می‌پرسم که این دما چگونه به وجود آمده است؟ چه می‌شود که دمای هوا افزایش یا کاهش پیدا می‌کند؟

احتمالاً شما توضیح خواهید داد که دما، حاصل حرکت مولکول‌های هوا است و به نوعی به انرژی جنبشی مولکول‌ها ربط دارد.

حالا من سوال دیگری می‌پرسم: اگر یک عدد از این مولکول‌ها را انتخاب و بررسی کنیم، دمای آن مولکول چند درجه‌ی سانتی‌گراد است؟

پاسخ را می‌دانیم: یک مولکول، دما ندارد. اصلاً دما برای یک مولکول تعریف نمی‌شود. دما برای مجموعه‌ای از مولکول‌ها (آن هم وقتی تعدادشان بسیار زیاد باشد) قابل تعریف است.

می‌پرسم: هر یک از این مولکول‌ها چه سهمی در دمای ۲۱ درجه دارند؟ شما می‌گویید: هیچ سهمی ندارند. در حدی که اگر دیواری در میانه‌ی اتاق بکشیم و نیمی از مولکول‌ها پشت دیوار بمانند، باز هم دمای هوا ۲۱ درجه خواهد بود.

باز می‌پرسم: حالا که مولکول‌ها هیچ نقشی ندارند، اگر تمام مولکول‌ها را از اتاق خارج کنیم، باز هم دمای داخل اتاق ۲۱ درجه است؟

پاسخ می‌دهید که: نه. اگر مولکول‌ها نباشند، شرایط فرق می‌کند. چون این دما، به نوعی از انرژی جنبشی مولکول‌ها نشأت می‌گیرد.

تمام بحث **ظهور و پدیدار شدن** و به وجود آمدن **ویژگی‌های سطح بالا**^{۲۹} همین است. شما در سطح کلان در کل سیستم پیچیده، می‌توانید ویژگی‌هایی را مشاهده و تعریف و اندازه‌گیری و بررسی کنید که برای تک تک اعضای آن سیستم، قابل مشاهده و تعریف و اندازه‌گیری نیست.

می‌کردند. از پیگیری‌هایی که اینشتین برای سبک‌تر کردن کار ارنست در دانشگاه انجام می‌داد، به نظر می‌رسد که در زمینه‌ی شرایط روحی او، نگرانی‌هایی داشته است.

^{۲۹} من Emergence را به **ظهور و پدیدار شدن** ترجمه می‌کنم. در متن‌های عربی، دقیقاً واژه‌ی ظهور را به عنوان معادل به کار می‌برند و در فارسی هم به نظم پدیدار شدن، می‌تواند همان معنا را داشته باشد. اما به نظرم ترجمه‌ی Emergent Properties به **ویژگی‌های پدیدار شونده** کمی ثقیل است. با وجودی که شاید ترجمه‌ی دقیقی به نظر نرسد، من از عبارت **ویژگی‌های سطح بالا** استفاده می‌کنم. احتمالاً بعداً ترجمه‌های بهتر یا واژه‌های جدیدی برای این مفهوم ایجاد می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کافی است دمای یک گاز را با جرم یک گاز مقایسه کنید تا تفاوت جرم (به عنوان یک ویژگی سطح پایین) را با دما (به عنوان یک ویژگی سطح بالا) ببینید.

وقتی از جرم یک گاز صحبت می‌کنیم و مثلاً می‌گوییم که این گاز ۱۰۰ گرم وزن دارد، سهم هر مولکول در کل جرم کاملاً مشخص است. همچنین وقتی گاز را به دو بخش مساوی تقسیم می‌کنیم، جرم هم دقیقاً به دو بخش برابر تقسیم می‌شود. به عبارتی، جرم، یک ویژگی جدید نیست که در اثر کنار هم قرار گرفتن مولکول‌ها ایجاد شده باشد. بلکه صرفاً حاصل جمع جرم تک تک مولکول‌هاست که قبل از قرار گرفتن آنها در کنار یکدیگر هم وجود داشته است.

برای این رفتار سیستم‌های پیچیده، یعنی **ظهور ویژگی‌های جدید**، تعریف‌های متنوعی وجود دارد. گاهی اوقات می‌گویند که در سیستم‌های پیچیده، ویژگی‌ها و رفتارهایی بروز می‌کند که با حاصل جمع ویژگی‌ها و رفتارهای تک تک اجزاء، قابل بیان نیست.

گاهی اوقات، می‌گویند که ویژگی‌هایی از این دست، زمانی پدید می‌آیند که تعداد اجزاء یک سیستم، بسیار زیاد باشد و به سمت بی‌نهایت میل کند.

حیف است که تعریف اوکانور و کورادینی را هم نخوانده باشیم^{۳۰}:

پدیده‌هایی که در سیستم‌های پیچیده **ظهور** می‌کنند، بر پایه‌ی پدیده‌های سطح پایین‌تر موجود در میان اجزاء همان سیستم شکل می‌گیرند و در سطحی بالاتر [در قالب یک سازمان‌دهی و هویت جدید] مشاهده و درک می‌شوند. اما همین پدیده‌های **ظهور کرده**، خود مجدداً بر پدیده‌های سطح پایین‌تر اثر می‌گذارند و به نوعی آنها را محدود، کنترل یا مدیریت می‌کنند.

کسی را که دارای **اعتماد به نفس** است در نظر بگیرید. مهم نیست که اعتماد به نفس را چگونه تعریف و اندازه‌گیری می‌کنید. اعتماد به نفس را به کدام یک از سلول‌هایش ربط می‌دهید؟ به کدام هورمون؟ به کدامیک از اجزای سیستم ایمنی بدن؟

به همه و به هیچ کدام. اعتماد به نفس، برای یک عضو یا یک اندام یا یک سلول قابل تعریف نیست. اما از سوی دیگر، همین اعضا و اندام‌ها و سلول‌ها بوده‌اند که در کنار یکدیگر و در تعامل با یکدیگر، اعتماد به نفس را خلق کرده‌اند.

جالب اینجاست که همین **اعتماد به نفس** پایین یا بالا، خود می‌تواند روی نوروهای مغز، روی ترشح هورمون‌ها، روی سیستم ایمنی بدن تاثیر بگذارد.

³⁰ Corradini, A., & O'Connor, T. (2010). Introduction. In *Emergence in science and philosophy*. New York: Routledge.

جمله‌ی راسل اکاف، در اینجا می‌تواند الهام‌بخش باشد و بحث را به نوعی خلاصه کند: ما انسان‌ها سیستم‌ها را می‌سازیم و سپس، سیستم‌ها هستند که ما انسان‌ها را می‌سازند.

به هر حال، مستقل از این بحث‌ها - که بعداً به سراغ‌شان خواهیم رفت - فعلاً در حد بحث مقدماتی ما و قبل از اینکه وارد اصل موضوع بشویم، تعریف زیر کافی است:

تعریف ویژگی‌های سطح بالا
ویژگی‌های سطح بالا یا ویژگی‌های پدیدارشنوده، ویژگی‌هایی هستند که برای کل یک سیستم تعریف می‌شوند، اما در مورد هیچ یک از اجزای آن سیستم، قابل اطلاق نبوده و برای توصیف و سنجش اجزاء، قابل استفاده نیستند. از ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده این است که در آنها، ویژگی‌های سطح بالا، ظهور می‌کند. به عنوان مثال مغز انسان را در نظر بگیرید. شما می‌توانید برای کل مغز، بهره‌ی هوشی تعریف کنید. اما اگر از شما پرسند که بهره‌ی هوشی یک نورون چند است، قاعدتاً جوابی نخواهید داشت. چون بهره‌ی هوشی فقط برای مجموعه‌ای بزرگ از نورون‌ها که آن را مغز می‌نامیم قابل تعریف است و نه یک یا چند نورون.

دو فضای فکری متفاوت برای مواجهه پیچیدگی

می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده، **ابهام علی**^{۳۱} 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^{۳۲}، می‌تواند به خوبی مشخص کند که انسان کهن در مواجهه با پدیده‌ی پیچیدگی و سیستم‌های پیچیده چگونه عمل می‌کرده است.

³¹ Causal Opacity

³² 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 نه تنها شرط لازم، بلکه شرط کافی برای سهم داشتن در حوزه‌های مختلف علوم نیز می‌بینیم (تقریباً شبیه اینکه امروز بگوییم، هر کس خانه‌ی بزرگی دارد، حتماً علم و فلسفه را هم به همان نسبت بهتر می‌فهمد). شک نیست که تمدن کهن ایرانی، دستاوردهای زیادی داشته است. اما لاقلاً 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

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^{۳۳}، 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.

شبیه همین شیوه‌ی مواجهه با جهان را در تفکر رومیان هم می‌توان دید. اگر چه این حرف من مطلق نیست، اما المان‌های مشابه 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 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.

خالی سلسله‌های کهن. گذشته‌ای که ظاهراً جنبه‌ی کشورگشایی و سنت اجتماعی و عمران و کارهای سیویل و مهندسی‌اش، بسی مانتر 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.

^{۳۳} دیمتر (Demeter) یا The Mother، الهه‌ی مادر است. تشابه آوایی بین مادر در زبان ما و دیمتر را به سادگی می‌توان حس کرد.

شیوه‌ی یونانی در نگرش به سیستم‌های پیچیده، که اوج آن را می‌توان در مُثُل 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.

البته احتمالاً می‌توانید موضع مسیحیان در مقابل افلاطون را حدس بزنید. برای بسیاری از فلاسفه و منطق‌یون نسل اول مسیحیت، او در حد یک مسیحی که چند قرن قبل از مسیح می‌زیسته، مورد اشاره و احترام است.^{۳۴}

روبروی این نگرش فرافکنانه^{۳۵} یونانی، نگرش فروکاهنده^{۳۶}ی 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 جاناتان بارنز^{۳۷} می‌تواند بسیار مفید باشد. توضیحات بارنز در مورد دموکریتوس و افکار او شگفت‌انگیز است.^{۳۸} 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.

³⁴ Dover, K. J., & Burstall, C. (1981). The Greeks (p. 102). Austin: University of Texas Press.

³⁵ معمولاً ما فرافکنی را معادل Projection در نظر می‌گیریم. اما لطفاً آن را در اینجا به عنوان متضاد فروکاهیدن در نظر بگیرید. فکر می‌کنم توجیهات متعددی وجود دارد که در انگلیسی هم Inductionism به عنوان متضاد Reductionism مورد استفاده قرار بگیرد. اما متأسفانه الان بیشتر از Antireductionism و Holism استفاده می‌شود که می‌تواند اختلال معنایی جدی به وجود بیاورد. به هر حال، در فضای این متن، فکر می‌کنم فرافکنی برای تبیین نگرش میتولوژیک، توصیف خوبی باشد.

³⁶ Reductionist

³⁷ Johnathan Barnes

³⁸ Barnes, J. (1987). Early Greek philosophy (pp. 203-253). Harmondsworth, Middlesex, England: Penguin Books.

دموکریتوس معتقد بود که جهان از اتم و تھی ذرات^{۳۹} ساخته شده است. او می‌گفت تمام عالم هستی از اتم ساخته شده است. اتم‌هایی که در آشوب^{۴۰} 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 مقابل دموکریتوس حدس بزنیم. افلاطون می‌گفت که ای کاش کلیه‌ی کتابهای دموکریتوس سوزانده شود. او می‌گفت: چگونه دموکریتوس می‌تواند خودش را قانع کند که این همه نظم و ساختار و زیبایی، صرفاً در اثر ترکیب ذرات اتم درست شده باشد^{۴۱}.

اگر چه واژه‌ی اتم و نگرش اتمی، قدمتی بیش از ۲۵ قرن دارد، اما منصفانه نیست که به این بهانه، نقش بزرگ لودویگ بولتزمن را در تعریف و تثبیت نگرش اتمیستی در فیزیک نادیده بگیریم یا کم‌اهمیت فرض کنیم.

بولتزمن در سالهای ۱۸۶۰ در شرایطی از اتم حرف می‌زد که هنوز نگرش اتمیستی و وجود اتم، در جامعه‌ی آکادمیک مورد حمله و نقد جدی بود.

در چنین شرایطی، نگرش اتمیستی در نگاه بولتزمن چنان واضح و شفاف و پذیرفته شده بود که کوشید گام‌های بعدی را بر مبنای این پیش‌فرض بردارد و دانش آمار و احتمال را برای درک بهتر فیزیک مواد به کار بگیرد.

اگر بتوانیم آن فضا را به خوبی تصور کنیم خواهیم دید که چنین جملاتی تا چه حد می‌توانند انقلابی باشند:

^{۳۹} تھی ذرات را من ساخته‌ام 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 تھی 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 تھی ذره یا Void، یک ذره است که فضای خالی بین اتم‌ها را ایجاد می‌کند.

^{۴۰} خائوس یا Chaos

^{۴۱} هندی‌ها هم تقریباً از همان قرن چهارم یا پنجم قبل از میلاد، نگاه اتمیستی را در بخشی از جامعه و جهان‌بینی خود داشته‌اند. آنها به جای اتم، از اصطلاح کالاپاس (Kalapas) استفاده می‌کرده‌اند و معتقد بوده‌اند که هشت نوع کالاپاس متفاوت وجود دارد که جهان از آنها ساخته شده است. فقط طعم اندیشه‌ی هندی هم به نوعی در این جهان‌بینی آنها وجود داشته است. اولاً معتقد بوده‌اند که این ذرات ریز (کالاپاس) به سرعت به وجود می‌آیند و به عدم می‌روند. ثانیاً بر این باور بودند که این ذرات را با تمرکز و مدیتیشن می‌توان درک و مشاهده کرد.

یک سانتی‌متر مکعب گاز، در فشار یک اتمسفر در دمای متعارف، از حدود 10^{20} ذره تشکیل شده که با سرعتی قابل مقایسه با سرعت صوت حرکت می‌کنند و در هر ثانیه حدوداً 10^{34} برخورد بین آنها روی می‌دهد.

چالش‌های بولتزمن در زمان مطرح کردن این بحث‌ها بسیار زیاد و متنوع بود. او نه تنها باید از نگرش اتمیستیک دفاع می‌کرد، بلکه باید شیوه‌ی به‌کارگیری روش‌های آماری در تحلیل سیستم‌های پیچیده را هم به دیگران تفهیم می‌کرد.

نکته‌ی دیگری هم وجود دارد که بعداً باید به آنپردازیم. اما فعلاً بد نیست در حد چند جمله به آن اشاره کنم که نگرش بولتزمن، به نوعی منتهی به پذیرش این دیدگاه می‌شد که زمان یک‌سویه است و صرفاً به جلو می‌رود و به عقب باز نمی‌گردد.⁴² در آن زمان، فرض بر این بود که یک طرفه بودن مسیر حرکت زمان، حتی اگر هم قابل بحث و دفاع باشد، بحثی فلسفی است و با اصول اولیه‌ی فیزیک قابل استخراج و استنتاج نیست. کافی است مروری به کتاب پاول نائین⁴³ داشته باشید تا ببیند در همان سالها، ایده‌ی استفاده از ماشین زمان برای سفر به گذشته چقدر پرطرفدار بوده و تا چه حد در ادبیات عمومی مورد استقبال قرار می‌گرفته است. به عبارتی، پذیرش این حرف که علم هنوز نتوانسته به ابزاری برای سفر به گذشته دست پیدا کند، بسیار ساده‌تر و منطقی‌تر از آن بوده که کسی یک دستگاه جهان‌بینی طراحی و پیشنهاد کند که در آن، مسیر سفر به گذشته به شکلی قطعی و منطقی، مسدود باشد.⁴⁴

⁴² اصطلاح Arrow of time یا پیکان زمان، آن زمان در توصیف این پدیده مطرح شد و رواج یافت.

⁴³ Nahin, P. J. (1993). Time machines: time travel in physics, metaphysics, and science fiction (pp. 54-66). New York, NY: American Institute of Physics.

⁴⁴ حتماً به این نکته توجه دارید که سفر به گذشته و سفر به آینده، دو بحث کاملاً متفاوت هستند و ارتباط چندانی با یکدیگر ندارند.