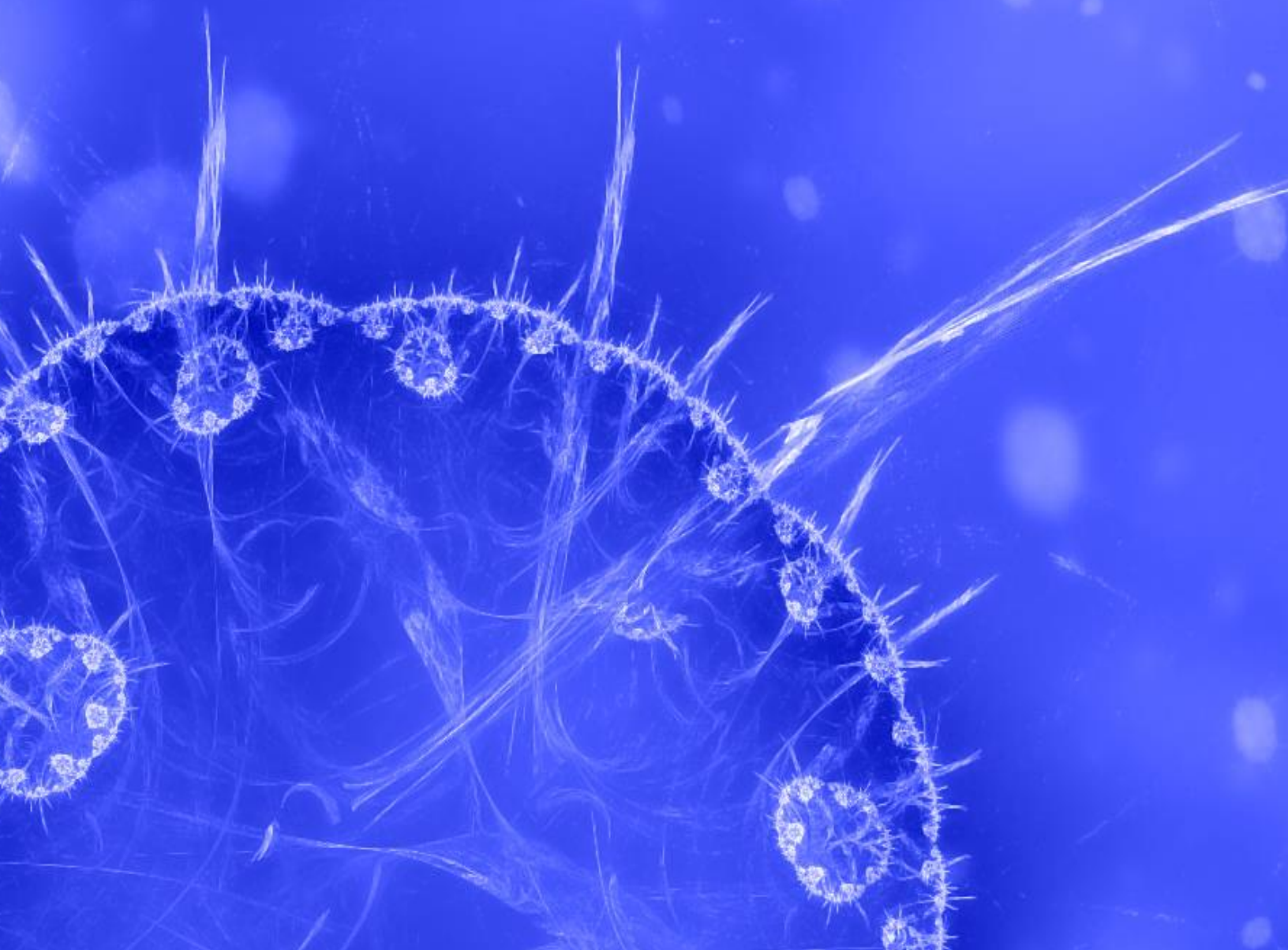


مقدمه‌ای بر

سیستم های پیچیده

محمد رضا شعبانعلی



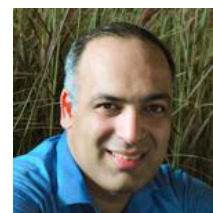
تقديم به نخستين موجودى كه روزى در درونش،
جهان را چيزى متفاوت از آنچه بود تصور كرد.
و پس از آن روياء، از خود پرسيد:
پس چرا دنيا آن گونه نيست؟

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 – لااقل 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 استعاره‌ی – 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»، لااقل 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 شگفت زده 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 شگفت زده 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 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.

همه‌ی ما شناخت جهان را با یک **واقع‌گرایی** **کودکانه** آغاز می‌کنیم. با این باور که هر چیزی، دقیقاً همان است که دیده می‌شود. فکر می‌کنیم که سبزه سبز است، سنگ سخت است و برف سرد است.

اما فیزیک به ما اطمینان می‌دهد که درک و تجربه‌ی ما در مورد سبزی سبزه، سختی سنگ و سردی برف، با آنچه واقعاً در دنیای بیرون وجود دارد، تفاوت بسیار دارد.

برتراند راسل

چرا باید سیستم‌های پیچیده را بشناسیم؟

هر کس برای یادگیری سیستم‌های پیچیده، انگیزه‌ی ویژه‌ی خودش را دارد. من نمی‌توانم به عنوان نویسنده‌ی این کتاب، حدس بزنم که چه سوالاتی، خواننده را – در میان انبوهی از گزینه‌ها که برای خواندن دارد – به سمت این نوشته سوق داده است.

اما می‌توانم **بخشی** از انگیزه‌های خودم را از نوشتن این کتاب، شرح دهم. انگیزه‌هایی که اگر چه مهم‌ترین انگیزه‌ام نیستند، اما به هر حال انگیزاننده‌های مهمی هستند و گمان می‌کنم که می‌توانند خواننده را هم با کتاب همراه کنند.

بسیاری از جنبه‌های زندگی ما، هر روز پیچیده‌تر می‌شوند. بخشی از این پیچیدگی، به علت افزایش تعداد بازیگران در بازی‌های دنیاست.

به جهان سیاست نگاه کنید. زمانی تعداد افراد تاثیرگذار بر سیاست در سطح جهان را می‌توانستیم با خطای کمی بشماریم. فهرستی از ده یا بیست یا سی یا صد نام که می‌توانستند مدعی باشند سرنوشت جهان را در اختیار دارند. یک یا دو یا ده امپراطور و پادشاه، که در نگاه خود، زمین را از محل طلوعش در شرق تا غروبش در غرب، میان خود تقسیم کرده بودند.

امروز، تعداد بازیگران عرصه‌ی سیاست در سطح جهان، از شمار بیرون است. این مسئله صرفاً به خاطر ترویج نظام‌های مردمی و ظهور دموکراسی در کشورهای مختلف و تعدد ارکان قدرت نیست. بلکه به خاطر ظهور کسانی است که می‌توان آنها را **خرده قدرت‌ها**^۵ یا **خرده اثرگذاران**^۶ دانست.

می‌شود حدس زد که انتشار یک عکس یا یک خبر در شبکه‌های اجتماعی، به سادگی می‌تواند جریان‌های بزرگی بسازد. این جریان، می‌تواند خشم یک گروه از مردم در گوشه‌ای از جهان به خاطر مشاهده‌ی رفتار یک دولت در گوشه‌ی دیگری

^۵ Micro-powers

^۶ Micro-influencers

از جهان باشد و می‌تواند جمع‌آوری هزینه‌ی درمان کودکی در یک روستای دورافتاده باشد که هرگز امید نداشته صدا و تصویرش، در شهرهای بزرگ کشورش شنیده شود.

تبدیل شدن چند قدرت بزرگ، به هزاران و میلیون‌ها خرده‌قدرت، برای مدل ذهنی ما که تحت تاثیر جنگ‌های جهانی و پس از آن جنگ سرد، جهان را در اختیار تعدادی ابرقدرت می‌دیدیم و می‌دانستیم، فضای کاملاً جدیدی محسوب می‌شود.^۷

اگر بپذیریم که زمانی، سه جهان بر روی این کره‌ی خاکی وجود داشته است، یا اینکه بپذیریم که سیاستمداران قرن گذشته، جهان را به سه بخش اول و دوم و بقیه تقسیم می‌کرده‌اند، امروز به طور قطع می‌توان از وجود میلیون‌ها جهان بر روی این سیاره سخن گفت. هر جهان، مجموعه‌ای از انسان‌ها، اصول، باورها، انتظارات، آرزوها و فرهنگ‌هاست که خود را در تعامل و گاه تقابل با جهان‌های دیگر می‌بیند و برای حفظ و بقا خود تلاش می‌کند.

ما بعد از جهان دوقطبی در دوران جنگ سرد، وارد جهان سه قطبی یا پنج قطبی یا ده قطبی نشدیم. بلکه ناگهان وارد جهانی شدیم که هزاران و میلیون‌ها قطب دارد. آن‌قدر بزرگ و پیچیده که شاید خیلی از جوامع و گروه‌ها، هنوز حتی خودشان هم نقشی را که در سرنوشت جهان دارند باور و درک نکرده باشند.

از بین رفتن یا کاهش اثر قدرت‌های متمرکز را نباید با بی‌سر و سامانی هم‌معنا فرض کرد. اتفاقاً خواهیم دید که از جمله ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده این است که می‌توانند در عین پراکندگی گسترده‌ی درونی، هویت بیرونی پایداری را حفظ کنند.

در حوزه‌ی سیاسی-اجتماعی، مثال‌های زیادی وجود دارند؛ اما فکر می‌کنم سوییس مثال زیبایی است که به ما یادآوری می‌کند توزیع گسترده‌ی قدرت در قالب خرده قدرت‌ها هم می‌تواند یک پیکره‌ی باثبات و بالنده ایجاد کند.

سوییس کشوری فدرالی است که با وجود مقیاس کوچکش (با جمعیتی کمتر از نصف جمعیت استان تهران و مساحتی قابل مقایسه با استان سمنان یا یزد)، از بیست و شش خرده قدرت شکل گرفته است. این خرده قدرت‌ها در اواخر قرن سیزدهم و اوایل قرن چهاردهم میلادی در قالب یک همکاری دفاعی بین چند ناحیه در کنار هم قرار گرفتند و اساس چیزی را ساختند که امروز به عنوان کنفدراسیون سوییس می‌شناسیم.

^۷ برای درک بهتر مدل ذهنی حاکم بر قرن بیستم (که البته ادامه‌ی مدل ذهنی حاکم در قرون گذشته است)، فقط کافی است به تعبیری مانند **جهان سوم**، فکر کنید. نگرشی که دنیا را به دو جهان اصلی (ناتو و کمونیست‌ها) تقسیم می‌کرد و هر چه باقی می‌ماند، سهم جهان سوم می‌شد.

جالب اینجاست که ساختار این کشور، با ساختاری که از کشورهای فدرالی می‌شناسیم تفاوت‌های کلیدی دارد. در حدی که بسیاری از نظریه‌پردازان، آن را نمونه‌ی آخرین جامعه‌ی بزرگ سیاسی اقتصادی جهان می‌دانند که ساختار دولت-ملت در آن به وجود نیامده است.^۸ در عین حال، می‌دانیم که این کشور، یکی از توسعه‌یافته‌ترین و پایدارترین فرهنگ‌ها و اقتصادها را خلق کرده است.

در حوزه‌ی بیولوژی، بدن انسان مثال بسیار مناسبی است. در طول این کتاب خواهیم دید که بدن انسان، جامعه‌ای با سی تا چهل هزار میلیارد عضو است که اگر چه هیچ‌یک از آنها عضو کلیدی نیستند، اما در کنار یکدیگر هویتی واحد و مستقل و پایدار را شکل می‌دهند.^۹

ظهور سیستم‌های پیچیده را علاوه بر سیاست، اقتصاد و بیولوژی، در حوزه‌ی تکنولوژی نیز می‌توان مشاهده کرد.

توجه دقیق به نزدیک شدن انسان‌ها به یکدیگر در اثر توسعه‌ی تکنولوژی را، بی‌تردید باید به مارشال مک‌لوهان نسبت داد. او که در نیمه‌ی دوم قرن بیستم و در دوران رواج یافتن رادیو و تلویزیون زندگی می‌کرد، به این نتیجه رسیده بود که زندگی انسان به تدریج به زندگی در یک دهکده شبیه می‌شود. او در دورانی عنوان دهکده جهانی را به کار برد که هنوز اینترنت، به شکلی که ما می‌شناسیم به وجود نیامده بود. او در کتاب **درک رسانه** چنین می‌نویسد:^{۱۰}

بعد از حدود سه هزار سال، که تکنولوژی‌های مکانیکی به انفجار [انبساط] و پراکنده کردن جامعه‌ی انسانی پرداخته‌اند، دنیای غرب در حال متراکم شدن است.

در دوران مکانیکی، ما دسترسی بدن خود را به [نقاط مختلف] فضا توسعه دادیم. امروز پس از گذشت یک قرن از توسعه تکنولوژی الکتریکی، ما دسترسی فیزیکی سیستم عصبی بدن خود را گسترش داده‌ایم و جهان را در آغوش گرفته‌ایم. اگر معیار خود را سیاره‌ی زمین در نظر بگیریم، باید بگوییم که انسان مفهوم زمان و مکان را محو و ناپدید کرده است.

^۸ Helbling, M., & Stojanović, N. (2011). Switzerland: challenging the big theories of nationalism1. *Nations and Nationalism*, 17(4), 712-717. doi:10.1111/j.1469-8129.2011.00516.x

^۹ در واقع می‌توان مرگ را افول و سقوط هماهنگی و یک‌پارچگی در این جامعه تعریف کرد. چیزی که بعداً می‌بینیم از قابلیت تبدیل شدن به معیارهای عددی (Quantification) نیز برخوردار است.

^{۱۰} McLuhan, M. (1964). *Understanding media: the extensions of man* (p. 3). New York: McGraw-Hill.

بعد از مک‌لوهان، باید از فریگیس کارینثی^{۱۱} نام ببریم که مفهوم **فاصله اجتماعی** را در داستان کوتاه خود به نام **زنجیرها** مطرح کرد و پایه‌گذار بحثی شد که بعداً در فضای آکادمیک، تحت عنوان **شش درجه‌ی جدایی** نام‌گذاری و شناخته شد^{۱۲}.

ساده‌ترین بیان قانون شش درجه جدایی به این صورت است که اگر فردی را در نقطه‌ای از جهان انتخاب کنید، حتماً من دوستی دارم که دوستی داشته باشد که دوستِ آن دوست، دوست دیگری داشته باشد که از طریق یکی از دوستانش با آن فرد در ارتباط باشد.

توجه داشته باشید که اینجا فقط از **شناختن** صحبت می‌کنیم و نه از یک **رابطه‌ی دوستی** یا عاطفی عمیق. به عبارتی این نوع آشنایی را می‌توانید چیزی در حد همین دوستی‌های رایج امروزی در شبکه‌های اجتماعی در نظر بگیرید که با یک کلیک به وجود می‌آید و با کلیک دیگر هم از بین می‌رود.

در ادامه‌ی زنجیره‌ی افرادی که به **انقباض جهان** فکر کرده‌اند، بی‌تردید باید نام کریستاکیس^{۱۳} را ذکر کرد. مفهوم **سه درجه‌ی تاثیرگذاری** که او در دنیای دیجیتال و شبکه‌های مجازی مطرح می‌کند، شکل توسعه‌ی یافته‌ی همان دیدگاهی است که قبلاً تحت عنوان **شش درجه جدایی** مطرح شده بود.

در شش درجه‌ی جدایی، ما صرفاً از رابطه‌ی ساده حرف می‌زدیم و در اینجا، از **تاثیرگذاری** صحبت می‌کنیم. کریستاکیس به ما نشان می‌دهد که اگر دوستِ دوستِ من، اضافه وزن داشته باشد، احتمال اضافه وزن داشتن من هم افزایش می‌یابد.

اگر به شکل کامل‌تری بگوییم، او با در اختیار داشتن ویژگی‌های دوستانِ دوستانِ من – حتی اگر از خود من و دوستان من اطلاعاتی نداشته باشد – می‌تواند ویژگی‌های متعددی را در مورد من کشف و استخراج کند. این ویژگی‌ها طیف گسترده‌ای از صفات و عادت‌ها، از احساسات لحظه‌ای تا عادات غذایی را شامل می‌شوند.

^{۱۱} Frigyes Karinthy

^{۱۲} شاید قرار دادن نام یک داستان‌نویس در کنار نام کسی مانند مک‌لوهان که یک تحلیل‌گر محسوب می‌شود، چندان قابل دفاع به نظر نرسد. اما شاید همین که اصطلاح و عبارات مورد استفاده‌ی او در ادبیات آکادمیک باقی مانده و هنوز هم مورد اشاره و استناد قرار می‌گیرد، احتمالاً برای دفاع از این تصمیم من قابل قبول خواهد بود.

^{۱۳} Nicholas A. Christakis

بر این باور هستیم که در میان کتاب‌هایی که تا لحظه‌ی نگارش این متن منتشر شده‌اند، کتاب **متصل**^{۱۴} نوشته‌ی کریستاکیس و فاولر، یکی از بهترین کتاب‌هایی است که با زبانی ساده و البته وسواسی علمی، سیستم پیچیده‌ای را که در اثر اتصال ما انسان‌ها از طریق تکنولوژی در سراسر کره‌ی زمین به وجود آمده است، توصیف می‌کند.

مک‌لوهان، کارینتی و کریستاکیس، تصویری شفاف و کلان‌نگر از **دنیای در حال انقباض** به ما نشان می‌دهند. بعدها که بیشتر در مورد مکانیک آماری بولتزمن صحبت کنیم، می‌توانیم توسعه شبکه‌های اجتماعی را تا حد زیادی شبیه فشرده کردن گاز در یک محفظه‌ی بسته در نظر بگیریم. محفظه‌ی بسته کل انسان‌ها روی کره‌ی زمین هستند و هر یک از ما، نقش یکی از مولکول‌های گاز را ایفا می‌کنیم.

اگر چه، تعامل انسان‌ها با یکدیگر پیچیده‌تر از تعامل مولکول‌ها با یکدیگر است، اما آنالوژی **گاز فشرده و جامعه‌ی انسانی** همچنان می‌تواند در درک بسیاری از پدیده‌های امروز جامعه‌ی انسانی، به ما کمک کند. لااقل داغ‌تر و ملتهب‌تر شدن جامعه‌ی انسانی را تا حد خوبی می‌توان با مقایسه‌ی دینامیک ارتباط انسان‌ها با یکدیگر و ارتباط مولکول‌ها در یک گاز متراکم درک کرد.

در کل، اگر بخواهم مثال‌های متفاوت و متنوعی را که در اینجا مطرح کردم، زیر سقف یک اصطلاح گرد هم بیاورم، احتمالاً اصطلاح **سیستم‌های بی‌سر**^{۱۵} تعبیر مناسبی خواهد بود.

هر چه تمرکز در سیاست و اقتصاد و مدیریت و فرهنگ و جامعه و شبکه‌های اجتماعی و زیست‌شناسی کمتر می‌شود و منابع و فرصت‌ها به شکل گسترده‌تری توزیع می‌شوند، سخت‌تر از قبل می‌توانیم برای سیستم‌ها **مرکزیت** قائل شویم.

شاید استفاده از جملات ویل دورانت، بتواند پایان مناسبی برای بحث فعلی من باشد.

ویل دورانت در کتاب داستان فلسفه^{۱۶} خود، توضیح می‌دهد که فلسفه باید از برج عاج خود پایین بیاید و زندگی انسان‌های عادی را مورد توجه قرار دهد.

این نگرشی است که خود او بعداً در تالیف تاریخ تمدن هم به صورت جدی رعایت می‌کند و در توصیف آن چنین می‌گوید:

^{۱۴} Christakis, N. A., & Fowler, J. H. (2009). Connected: the surprising power of our social networks and how they shape our lives. New York: Little, Brown and Co.

^{۱۵} Headless Systems

^{۱۶} Durant, W., & Durant, W. (1926). The story of philosophy: the lives and opinions of the greater philosophers. New York: Simon and Schuster.

تمدن، مانند یک رودخانه است. در شکل‌گیری رودخانه، علاوه بر جریان آب، نقش ساحل هم مهم است. جریان رودخانه، معمولاً سرشار از غوغاها و نواهای بلند است. سرشار از خون انسان‌هایی که کشته می‌شوند. سرشار از سرقت‌ها. لبریز از صداها و فریادها. همان چیزهایی که تاریخ‌نویسان ثبت می‌کنند.

اما در ساحل این رودخانه، بخش مهم دیگری از تمدن هم در جریان است. بخشی که کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. انسان‌ها خانه می‌سازند. عاشق می‌شوند. فرزندان خود را به دنیا می‌آورند. آواز می‌خوانند و شعر می‌نویسند.

من در تاریخ تمدن، به کناره‌های این رودخانه توجه می‌کنم. بخشی که معمولاً از نگاه تاریخ‌نویسان پنهان می‌ماند.

قضاوت در مورد اینکه چقدر دیدگاه ویل دورانت را می‌پسندید و با نگاه او همراه می‌شوید را به خودتان واگذار می‌کنم. اما یک چیز را می‌دانم. در گذشته‌ی تاریخ جهان، انسان‌های زیادی در کناره‌های رودخانه‌ی تمدن زندگی کرده‌اند که نامی از آنها در تاریخ نمانده است.

شاید منصفانه نباشد که مورخان را به خاطر این بی‌توجهی سرزنش کنیم. چون تاریخ را معدود افراد مشخصی می‌ساخته‌اند. تعدادی پادشاه و وزیران و فرماندهانشان. همچنان‌که بخش عمده‌ای از فلسفه و طب و هنر و شعر هم، توسط بزرگان مورد حمایت و مستقر در همان دربارها شکل گرفته و توسعه یافته است.

بخش قابل توجهی از انسان‌های دوران کهن، از لحاظ نقش انسانی، چندان توسعه نیافته بودند. صدها هزار نفر در سراسر جهان، برای امپراطوری‌ها جنگیدند و کاخ‌های بزرگ و نمادهای بزرگ تمدن را ساختند. اما نامی از آنها باقی نمانده است.

شاید کمی تلخ به نظر برسد. اما واقعیت این است که این گم‌نامی از گم‌نقشی آنها نشأت می‌گیرد. آدمی که سوار بر اسب، شمشیر جنگی را در دست می‌گرفته و به جنگ می‌رفته، از لحاظ نقش و اثرگذاری، تفاوتی با آن اسب یا آن شمشیر نداشته است. به عبارتی نقش و جایگاهش کاملاً مکانیکی بوده است.

هزار سرباز در یک جنگ کشته می‌شدند و هزار سرباز دیگر فردای آن روز، به جای آنها به جنگ می‌رفتند. بی‌آنکه خللی جدی ایجاد شود و هندسه‌ی بازی بزرگان به شکلی جدی تغییر کند. فقط کافی بود که انسان‌ها هم مثل اسب‌ها زاد و ولد کنند تا به همان اندازه که اسب‌های پیر و کشته حذف و جایگزین می‌شوند، سربازان پیر و کشته هم جایگزین شوند.

نباید مورخ دربار چنگیز خان مغول را به خاطر ثبت هر روزه‌ی شام او و ثبت نکردن نام سربازان او سرزنش کرد. تاریخ آن دوران، بیش از آنکه تحت تاثیر نام سربازان باشد، در گرو شام شبانه‌ی چنگیز بوده است.

اما آیا دنیای معاصر هم شامل چنین توصیفی است؟

آیا امروز هم، می‌توان بخش مهمی از مردم جهان را – که به تعبیر ویل دورانت در کرانه‌ی رودخانه‌ی تمدن زندگی می‌کنند – کنار گذاشت و صرفاً به بررسی جریان رودخانه مشغول شد؟

اصلاً آیا امروز هم، می‌توان جریان اصلی رودخانه را از کرانه‌ی رودخانه تفکیک کرد و به سبک ویل دورانت سخن گفت؟ آیا تشبیه تمدن به رودخانه که به تفکیک **جریان** و **کرانه** منجر می‌شود، امروز هم قابل استفاده و قابل اتکاست؟

تمام این کتاب به شرح یک مفهوم خواهد گذشت. اینکه در دنیای امروز، انسان‌ها و اقتصادها و فرهنگ‌ها و قدرت‌ها و اتفاقات و احساسات و خوشی و ناخوشی‌ها و فقر و رفاه و ضعف و قدرت، چنان با یکدیگر در هم آمیخته‌اند که هر نوع تقسیم‌بندی و مرزبندی به شیوه‌ی کهن، می‌تواند ما را از درک بهتر آنچه در جهان اطرافمان می‌گذرد، دور کند.

اگر اجزای زنده‌ی تشکیل دهنده‌ی یک جامعه را در نظر بگیریم، نمی‌دانم ویژگی‌های یک جامعه را باید ویژگی‌های یک موجود زنده دانست؟ یا ویژگی‌های موجودی که جان ندارد؟ یا موجود سومی که در هیچ یک از این دو دسته قرار نمی‌گیرد.

هربرت اسپنسر - سال ۱۸۷۶

به چه سیستمی، یک سیستم پیچیده می گویند؟

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 رویافت 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 هزار نفری 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 بنا^{۱۷} شناخته می‌شوند که حذف آنها می‌تواند ساختار اکوسیستم را متزلزل کرده و یا لاقلاً 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.

^{۱۷} Keystone Species

در سیستم‌های پیچیده اقتصادی هم می‌توان چالش تشخیص گونه‌های کلیدی را مشاهده کرد. مثلاً اتفاقی که در اوایل قرن بیستم تحت عنوان کمونیسم 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 دردسرهای 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:

- 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 پرداخته^{۱۸}.

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 هم‌تنیده، چیزی است که ما به عنوان حرکت گرده‌ی گل یا حرکت دود در هوا می‌بینیم.

^{۱۸} Einstein, A., & Fürth, R. (1956). Investigations on the theory of Brownian movement. New York, NY: Dover Publications.



حرکت براونی دود در هوا را می توان حاصل تعامل گسترده و درهم تنیده ی تعداد زیادی از مولکول ها (به عنوان المان های یک سیستم پیچیده) دانست.

جالب اینجاست که برای بسیاری از این تعامل ها، نمی توان به سادگی **آغاز و انجام** مشخص کرد. معلوم نیست که نقطه ی آغاز کدام حرکت بوده و نیز مشخص نیست که حرکت یا رفتاری هم که در این لحظه مشاهده می شود، چه رفتارهای دیگری را برخواهد انگیزد.

برای این تعامل ها، عموماً **سهم مشخص** هم قابل تعریف نیست. مولکولی آبی که اکنون به یک گرده ی گل تنه می زند و آن را تکان می دهد، نمی داند که چه سهمی از تکانه ای را که اکنون حمل می کند، در اثر برخورد قبلی خود با گرده ی گل، و برخوردهایی که در ادامه، گرده ی گل با مولکول های دیگر در اطراف او داشته است، کسب کرده است.

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

توصیفات رفتاری سیستم های پیچیده

تا جایی که من در بررسی هایم مشاهده کردم، تا به امروز، مسیرهای زیر از رایج ترین مسیرهایی بوده اند که به دانش پیچیدگی و سیستم های پیچیده منتهی شده اند:

- 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^{۱۹}

نیکل گولدن فلد^{۲۰} رفتار پیچیده را به شکلی ساده اما زیبا تعریف می‌کند^{۲۱}: پیچیدگی از جایی شروع می‌شود که علیت و بحث رابطه‌ی علت و معلول، در شرح آنچه روی داده است، ناتوان می‌ماند.

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.

^{۱۹} Causal Opacity

^{۲۰} Nigel Goldenfeld

^{۲۱} Editorial. No man is an island. Nature Physics, 5:1, 2009

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 می‌پیوندند.

این همان چیزی است که به آن، ابهام علی می‌گویند.

همچنانکه قبلاً هم تاکید 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.^{۲۲}

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.

^{۲۲} 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.

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 «علت‌العلل» 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.

بحث ابهام علی را فعلاً در همین‌جا 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^{۲۳}

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

^{۲۳} Self Organizing

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.^{۲۴}

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^{۲۵} 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 انتهای 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.

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 آشوب‌شنایی 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.

^{۲۴} این مفهوم معمولاً با عنوان Natural Selection و نیز Survival of the fittest مورد ارجاع قرار می‌گیرد.

^{۲۵} Wolff, J. (1986). The law of bone remodelling. Berlin: Springer.

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)

علاقه‌مندان به علوم انسانی، همیوستازی^{۲۶} 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.

قبل از اینکه لغت همیوستازی توسط آقای والتر کنون^{۲۷} در سال ۱۹۲۶ مطرح شود، مفهوم آن در نیمه‌های قرن نوزدهم توسط یک زیست‌شناس فرانسوی به نام کلاود برنارد^{۲۸} مطرح شد.

برنارد در توصیف همیوستازی - بدون اینکه از این واژه استفاده کند - چنین می‌گوید^{۲۹}:

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 مابعاتی

^{۲۶} Homeostasis

^{۲۷} Walter Bradford Cannon

^{۲۸} Claude Bernard

^{۲۹} Johnson, L. R., & Byrne, J. H. (2003). Essential medical physiology (p. 4). Amsterdam: Elsevier Academic Press.

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.

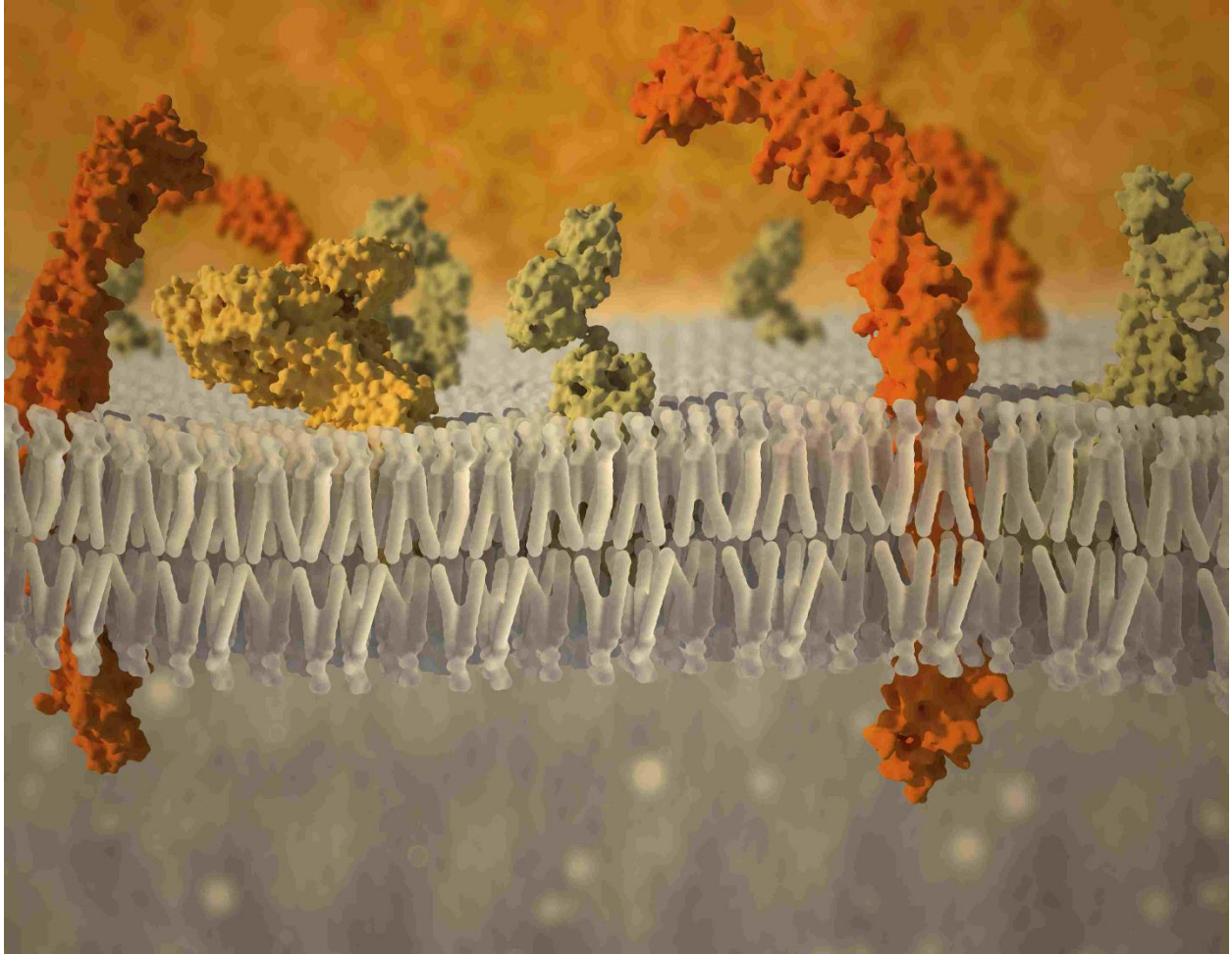
تعادل پویا، در مقابل تعادل ایستا قرار می‌گیرد. انسانی که دمای بدن او در سطح ۳۷ درجه‌ی سانتی‌گراد متعادل شده و تغییر چندانی نمی‌کند، با سنگی که در اثر تبادل حرارت در محیط در دمای ۳۷ درجه به تعادل رسیده است، یک تفاوت کلیدی دارد. تعادل سنگ کاملاً ایستا است. اما تعادل انسان پویا است. بدن انسان به صورت پیوسته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

شاید مناسب باشد که در بررسی پدیده‌ی هومیوستازی، اشاره‌ای هم به هومیوستازی در سلول داشته باشیم. می‌دانیم که سلول، با استفاده از غشاء سلولی^{۳۰} که یک دیواره‌ی بسیار نازک دولایه‌ای با ضخامتی در حدود ۷ یا ۸ نانومتر است، محیط داخلی خود را از بیرون جدا می‌کند.

^{۳۰} Cell Membrane



تصویری از غشاء دولایه‌ای سلول

در اینجا به طور قطع می‌توان گفت که محیط درون سلولی^{۳۱} از محیط برون سلولی^{۳۲} 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 رفت و آمد می‌کنند.

^{۳۱} Intracellular

^{۳۲} 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.^{۳۳}

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^{۳۴} مورد اشاره قرار می‌دهد.

^{۳۳} 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.

^{۳۴} 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^{۳۵}. اسفنج دریایی و عروس دریایی نمونه‌ای از موجوداتی هستند که می‌توان با مشاهده‌ی آنها، شکل‌های اولیه‌ی هومیوستازی را مطالعه کرد^{۳۶}.

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 هم‌ارز و هم‌سطح با هومیوستازی در نظر بگیریم.

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.

^{۳۵} دایناسورها کمتر از ۳۰۰ میلیون سال قبل، روی کره‌ی زمین زندگی می‌کرده‌اند.

^{۳۶} 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.

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.

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^{۳۷}

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^{۳۸} 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. لاقلاً 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^{۳۹}

^{۳۷} Coevolution

^{۳۸} Interaction-based evolution

^{۳۹} Emergence

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^۴ 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. 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.

^۴ لودویگ 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 می‌کردند. از پیگیری‌هایی که اینشتین برای سبک‌تر کردن کار ارنِست در دانشگاه انجام می‌داد، به نظر می‌رسد که در زمینه‌ی شرایط روحی او، نگرانی‌هایی داشته است.

تمام بحث **ظهور و پدیدار شدن** و به وجود آمدن **ویژگی‌های سطح بالا**^{۴۱} 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.

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^{۴۲}:

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.

^{۴۱} 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 نظرم 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.

^{۴۲} Corradini, A., & O'Connor, T. (2010). Introduction. In Emergence in science and philosophy. New York: Routledge.

کسی را که دارای **اعتماد به نفس** است در نظر بگیرید. مهم نیست که اعتماد به نفس را چگونه تعریف و اندازه گیری می کنید. اعتماد به نفس را به کدام یک از سلول هایش ربط می دهید؟ 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 بوده اند که در کنار یکدیگر و در تعامل با یکدیگر، اعتماد به نفس را خلق کرده اند.

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

جمله ی راسل اکاف، در اینجا می تواند الهام بخش باشد و بحث را به نوعی خلاصه کند: ما انسانها سیستمها را می سازیم و سپس، سیستمها هستند که ما انسانها را می سازند.

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 ویژگی های سطح بالا
ویژگی های سطح بالا یا ویژگی های پدیدار شونده، ویژگی هایی هستند که برای کل یک سیستم تعریف می شوند، اما در مورد هیچ یک از اجزای آن سیستم، قابل اطلاق نبوده و برای توصیف و سنجش اجزاء، قابل استفاده نیستند. از ویژگی های سیستم های پیچیده این است که در آنها، ویژگی های سطح بالا، ظهور می کند. به عنوان مثال مغز انسان را در نظر بگیرید. شما می توانید برای کل مغز، بهره ی هوشی تعریف کنید. اما اگر از شما بپرسند که بهره ی هوشی یک نرون چند است، قاعداً جوابی نخواهید داشت. چون بهره ی هوشی فقط برای مجموعه ای بزرگ از نوروها که آن را مغز می نامیم قابل تعریف است و نه یک یا چند نرون.

دو فضای فکری متفاوت برای مواجهه پیچیدگی

می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده، **ابهام علی**^{۴۳} 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^{۴۴}، می‌تواند به خوبی مشخص کند که انسان کهن در مواجهه با پدیده‌ی پیچیدگی و سیستم‌های پیچیده چگونه عمل می‌کرده است.

او برای کاهش ابهام علی، به سراغ خدایان المپ رفته است. مسئولیت رویدادهای آسمانی را به زئوس 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^{۴۵}، مادر زمین سپرده است و جنگ‌ها را به آرس.

^{۴۳} Causal Opacity

^{۴۴} 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 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 تأکید 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.

^{۴۵} دیمتر (Demeter) یا The Mother، الهه‌ی مادر است. تشابه آوایی بین مادر در زبان ما و دیمتر را به سادگی می‌توان حس کرد.

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 ژوپتر 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.

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.^{۴۶}

^{۴۶} Dover, K. J., & Burstall, C. (1981). The Greeks (p. 102). Austin: University of Texas Press.

روبروی این نگرش فرافکنانه^{۴۷} یونانی، نگرش فروگاهنده^{۴۸}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^{۴۹} می‌تواند بسیار مفید باشد. توضیحات بارنز در مورد دموکریتوس و افکار او شگفت‌انگیز است^{۵۰}. دموکریتوس در قرن پنجم قبل از میلاد، کتاب‌های متعددی تألیف 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.

دموکریتوس معتقد بود که جهان از اتم و تهی‌ذرات^{۵۱} ساخته شده است. او می‌گفت تمام عالم هستی از اتم ساخته شده است. اتم‌هایی که در آشوب^{۵۲} 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

^{۴۷} معمولاً ما فرافکنی را معادل Projection در نظر می‌گیریم. اما لطفاً آن را در اینجا به عنوان متضاد فروگاهیدن 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.

^{۴۸} Reductionist

^{۴۹} Johnathan Barnes

^{۵۰} Barnes, J. (1987). Early Greek philosophy (pp. 203-253). Harmondsworth, Middlesex, England: Penguin Books.

^{۵۱} تهی‌ذرات 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 تهی‌ذره یا Void، یک ذره است که فضای خالی بین اتم‌ها را ایجاد می‌کند.

^{۵۲} خائوس یا Chaos

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 ای‌کاش 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؟^{۵۳}

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:

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 آن بپردازیم. 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 بازمی‌گردد.^{۵۴} در آن زمان، فرض بر این بود که یک طرفه بودن مسیر حرکت زمان، حتی اگر هم قابل

^{۵۳} 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.

^{۵۴} اصطلاح Arrow of time یا پیکان زمان، آن زمان در توصیف این پدیده مطرح شد و رواج یافت.

بحث و دفاع باشد، بحثی فلسفی است و با اصول اولیه‌ی فیزیک قابل استخراج و استنتاج نیست. کافی است مروری به کتاب پاول ناهین^{۵۵} داشته باشید تا ببیند در همان سالها، ایده‌ی استفاده از ماشین زمان برای سفر به گذشته چقدر طرفدار 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^{۵۶}.

^{۵۵} Nahin, P. J. (1993). Time machines: time travel in physics, metaphysics, and science fiction (pp. 54-66). New York, NY: American Institute of Physics.

^{۵۶} 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.

پارادایم‌ها و ساختار تحولات علمی

تقریباً همیشه، کسانی که پارادایم‌های جدید را خلق کرده‌اند، یا بسیار جوان بوده‌اند و یا سابقه‌ی آشنایی بسیار کمی با پارادایم قبلی داشته‌اند.

توماس کوهن

بیش از نیم قرن پیش، توماس کوهن^{۵۷} کتابی در زمینه‌ی مرورِ تاریخِ تحولِ نگرشِ علمی نوشت که خود، به نقطه‌ی عطفی در تاریخ تحولِ نگرشِ علمی تبدیل شد.

کتاب او **ساختار انقلاب‌های علمی**^{۵۸} نام داشت. رایج است که کتاب او را به صورت خلاصه کتاب **ساختار می‌نامند**. من هم از همین شیوه‌ی ارجاع استفاده می‌کنم. البته علت این کار، صرفاً خلاصه‌نویسی و تبلی در نگارش نیست. بلکه نوعی تاکید بر محوری بودن کتاب نیز هست. اگر یک کتاب بزرگ در تاریخ علم در مورد **ساختار** باشد، بی‌شک آن کتاب، متعلق به توماس کوهن است. این دیگران هستند که باید کتابهایشان را با پیشوند و پسوند صدا کنند تا به عنوان یک هویت مستقل به رسمیت شناخته شوند^{۵۹}.

مانند هر کتاب بزرگ دیگری، این کتاب منتقدان خود را نیز دارد و شاید در آن میان، کارل پوپر را بتوان از مطرح‌ترین منتقدان آن دانست. اما بحث در مورد نقد پوپر و اینکه چرا با بخشی از نگرش‌های کوهن هم‌سو و همراه نیست، لااقل در این مرحله از صحبت‌های ما مفید نخواهد بود.

تولد کتاب کوهن را مدیون یک اتفاق بسیار ساده هستیم. اتفاق ساده‌ای که مسیر فلسفه‌ی علم را به جاده‌ی جدیدی هدایت کرد.

در زمانی که کوهن، مقطع ارشد خود را در دانشگاه هاروارد به پایان رساند، از او خواسته شد که در زمینه‌ی علم و تاریخ علم، کلاسی را برای دانشجویان کارشناسی برگزار کند. همچنین خواسته شده بود که محتوای این کلاس، تا حد زیادی به مرور کتابهای کلاسیک علمی اختصاص یابد.

توماس کوهن، که تا آن زمان هیچ کتاب کلاسیکی را نخوانده بود، وادار شد کتابهای ارسطو را بخواند. بسیاری از ما کتابهای کلاسیک را به صورت مستقیم و دست اول نخوانده‌ایم و نمی‌خوانیم، بلکه جملات و نکات دست‌چین شده‌ای از آنها را مرور می‌کنیم.

^{۵۷} Thomas Kuhn

^{۵۸} Kuhn, T. S. (1970). The structure of scientific revolutions. Chicago: University of Chicago Press.

^{۵۹} ویرایش اول کتاب در سال ۱۹۶۲ منتشر شد و البته بعداً ویرایش‌های دیگری از آن نیز به بازار آمد. ویرایشی که من به آن دسترسی داشته‌ام، مربوط به سال ۱۹۷۰ است. اگر چه در حدی که من ارجاع می‌دهم، تفاوت جدی وجود ندارد. چون صرفاً به چارچوب کلی نگرش کوهن اشاره می‌کنم.

تجربه‌ی مواجهه با یک کتاب کلاسیک به صورت مستقیم و دست اول، تجربه‌ای کاملاً متفاوت است که تا آن را لمس نکرده باشید، نمی‌توانید کیفیت آن را تصور کنید.^{۶۰}

توماس کوهن هم، نوشته‌های ارسطو در مورد فیزیک را می‌خواند و به نتیجه می‌رسد که این کتاب، سرشار از خطا و کج‌فهمی و اشتباه است. در حدی که خواندن آن قبل از کلاس و مرور آن برای دانشجویان و اتلاف وقت آنها، آزاردهنده به نظر می‌رسید.

تولد مفهوم پارادایم در این نقطه روی داده است. توماس کوهن، به نتیجه رسید که او، در حال مطالعه‌ی جهان‌بینی ارسطویی، با عینک نیوتونی است. بنابراین، ارسطو را یک فیزیکدان نیوتونی ضعیف و کم‌سواد و شاید بی‌سواد می‌بیند.

این در حالی است که دنیای ارسطو، دنیای ضعیف‌شده و خطاآلود نیوتون نیست. بلکه به کلی جهانی دیگر است و نمی‌توانیم ویژگی‌های یک جهان را با مترها و معیارها و ابزارهای جهانی دیگر بسنجیم و ارزیابی کنیم.

واژه‌ی انقلاب^{۶۱} هم که توماس کوهن در عنوان کتاب خود و البته در تمام کتابش به کار می‌برد، به همین متفاوت بودن جهان‌ها اشاره دارد. اگر مسیر علم را یک مسیر پیوسته بگیریم و نپذیریم که در آن، گسستگی‌هایی وجود دارد، همیشه می‌خواهیم گذشته را با متر امروز بسنجیم و به این شیوه، همیشه گذشتگان را افرادی سطحی، نادان، خطاکار و شاید احمق خواهیم یافت.

این در حالی است که هر بار که پارادایم عوض می‌شود، مترها و معیارها و مقیاس‌ها تغییر می‌کنند و برای شناختن نگرش علمی در هر دوران، وارد فضای فکری و فرهنگی آن دوران شویم. درست مانند کسی که به سرزمینی دیگر سفر می‌کند و حتی اگر واژه‌ای را بشنود که ظاهر آن با زبان مادری‌اش یکسان است، می‌داند که معنای آن را نباید الزاماً یکسان در نظر بگیرد.

واژه‌ی پارادایم داستان‌های زیادی را در دل خود پنهان دارد که اگر آنها را بدانیم، درک مفهوم پارادایم و جابجایی پارادایم و اندیشه‌ی توماس کوهن در مورد پارادایم، ساده‌تر خواهد بود.

^{۶۰} کافی است در بین بزرگان خودمان هم این نوع بررسی را انجام دهید. جملات عمیق فراوانی که از مولوی شنیده‌ایم را تصور کنید. حالا کتابی مثل فیه‌مافیه را بردارید و خودتان، بدون واسطه، متن تقطیع نشده را از ابتدا تا انتها بخوانید. اگر چه هم‌چنان فرازهای ارزشمندی در کتاب خواهید دید، اما بحث‌های زیادی هم هستند که شما را شگفت‌زده خواهند کرد. مثلاً بحث مولوی در مورد قدیم و حادث بودن جهان، چنان بی‌پایه و اساس است که انسان تعجب می‌کند یک نفر، چقدر می‌تواند نفهمد. و اگر نفهمی‌های دیگر در این کتاب و مثنوی و جاهای دیگر نبود، شاید تردید می‌کردیم که این شیوه‌ی نگرش به بحث، متعلق به خود مولوی باشد. اگر چه اینها به هیچ وجه از اعتبار مولوی به عنوان یک عارف و ادیب بزرگ کم نمی‌کند. چنانکه ارسطو هم، که قلب را محل اندیشیدن و مغز را محل خنک کردن خون می‌دانست (چون خون در اثر اندیشیدن قلب، گرم شده است!) هم‌چنان از مقام شامخی برخوردار است و چنین خطاهایی در نگرش، مقام والای او را خدشه‌دار نمی‌کند. اتفاقاً این همان بحثی است که توماس کوهن به آن می‌پردازد.

^{۶۱} واژه‌ی انقلاب در فارسی، از ریشه‌ی عربی قلب و دگرگون شدن است و اتفاقاً با مفهومی که کوهن مد نظر دارد سازگارتر است. در زبان انگلیسی، Revolution از ریشه‌ی Revolt به معنای چرخاندن و واژگون شدن است و به واژگون شدن تخت شاهان اشاره داشته است. اگر چه امروزه، کم نیستند کسانی که Revolution را به معنای همان چرخیدن و به نقطه‌ی نخست بازگشتن در نظر می‌گیرند و اشاره می‌کنند که بسیاری از انقلاب‌ها، به جای واژگونی، مسیری دایره‌وار را طی می‌کنند و به نقطه‌ی نخست بازمی‌گردند. به این معنی، شاید اگر کوهن فارسی و عربی هم می‌دانست، انقلاب را به Revolution ترجیح می‌داد، چون واقعاً دگرگون شدن نگرش‌ها مد نظر او بوده و نه واژگون شدن تخت سلطنت باورهای قبلی.

پارادایم واژه‌ای لاتین به معنای مثال است. در واقع کوهن معتقد است که در هر دورانی، مجموعه‌ای از اصول و باورها و ارزش‌ها و نگرش‌ها و مدل‌های علمی وجود دارند که شیوه‌ی مشاهده‌ی ما و حتی شیوه‌ی ادراک ما از جهان را شکل می‌دهند. پس هر آنچه ما به عنوان پدیده‌های علمی، آزمایش‌های علمی، کشفیات علمی انجام می‌دهیم، مثالی برای آن چیزی است که از قبل باور داشته‌ایم.

حیف است در اینجا از شعر زیبای مولوی یاد نکنیم که می‌گوید:

پیش چشم داشتی شیشه‌ی کبود زان سبب دنیا کبودت می‌نمود

کسی که عینک آبی رنگ بر چشم دارد، هر شیء تازه‌ای در محیط را یک جسم آبی رنگ جدید می‌بیند و مثال جدیدی در تایید باور قدیمی که هر چه در جهان هست، آبی است. فقط کسی می‌تواند جهان را به شیوه‌ای دیگر ببیند، که عینک آبی از چشم بردارد.

اشاره‌وار بگویم و عبور کنم که اینجا همان تفاوت بزرگ پوپر و کوهن است. پوپر از برداشتن عینک آبی می‌گوید و کوهن توضیح می‌دهد که ما هرگز نمی‌توانیم بدون عینک به جهان نگاه کنیم. پس باید در مورد گذاشتن عینک جدید حرف بزنیم و نه نگاه بدون عینک به جهان.

پوپر معتقد است که این نگرش کوهن، به نسبی بودن علم منجر می‌شود و این موضع، اعتبار و قدرت روش علمی را برای مبارزه یا مواجهه با باورهای دیگر، تضعیف می‌کند.

به هر حال، نکته‌ی مهم این است که در ادبیات کوهن، مهم از لغت پارادایم، اصطلاح پارادایم شیفت یا جابجایی پارادایم است: مقطعی از تاریخ، که علم و دانش و نگرش، از جهانی به جهان دیگر سفر می‌کند و دنیا را به شکل و شیوه‌ی جدیدی می‌بیند.

کوهن، پارادایم را به دو معنای کاملاً متفاوت به کار می‌برد:

- معنای عام و گسترده‌ی پارادایم
- معنای خاص پارادایم

آنچه ما معمولاً به عنوان پارادایم می‌شناسیم، معنای خاص آن است. به این شکل که مثلاً نگاه نیوتون و نگاه اینشتین به جهان، دو پارادایم متفاوت در نظر گرفته می‌شود.

اما پارادایم عام، مفهومی بسیار فراگیرتر دارد. مثلاً اینکه ما فکر می‌کنیم بین دو راه حل که پاسخ یکسانی دارند، راه حل ساده‌تر بهتر است. یا اینکه فکر می‌کنیم دقت بالاتر در تحلیل، بهتر از دقت کمتر در تحلیل است. یا اینکه فکر می‌کنیم افزایش تعداد مثال‌ها برای یک قانون، عمق و فراگیر بودن آن را بهتر اثبات می‌کند. اینکه فکر می‌کنیم یک شیوه‌ی خوب برای ارزیابی یک دانش، ارزیابی دستاوردهای آن است.

اینها در نگاه ما بدیهی هستند و به سختی می‌توانیم زمانی را تصور کنیم، که باورها و اصول و ارزش‌های دیگری جز اینها، بر جهان علم حاکم شوند.

به هر حال، آنچه در نگرش توماس کوهن جالب است، تردید شگفت‌انگیز او نسبت به همه چیز است. همین شک و تردید است که باعث می‌شود بتواند تاریخ علم را بار دیگر مرور کند و دستاوردها و گنجینه‌های دیگری را از این غواصی پیش چشم ما آورد.^{۶۲}

حیف است اگر فرصت نکنید و کتاب ساختار توماس کوهن را به صورت کامل نخوانید. چنانکه اگر کوهن، ارسطو را مستقیم و کامل نمی‌خواند، نطفه‌ی بحث پارادایم در ذهنش شکل نمی‌گرفت.

اما به هر حال، ترجیح می‌دهم برخی از کلیدی‌ترین نکات مطرح شده در کتاب ساختار را در اینجا مرور کنم تا در آینده بتوانیم بیشتر به آنها بپردازیم.

کوهن، به مکانیزم تقویت و رشد پارادایم‌ها اشاره می‌کند. او توضیح می‌دهد که همواره، تعداد زیادی از دانشمندان هستند که پارادایم فعلی را آموخته‌اند. بر اساس آن کار کرده‌اند. مسائل متعددی را با استفاده از آن حل کرده‌اند و احتمالاً مسائل باقی‌مانده‌ای هم دارند که در تلاشند تا در پارادایم فعلی، آن‌ها را حل کنند.

حالا وقتی، یک دانشمند یا محقق جدید، مطالعه‌ای انجام می‌دهد و نظریه‌ای می‌دهد یا تحقیقی می‌کند که می‌تواند بخشی از مسائل حل‌نشده‌ی آنها را در چارچوب پارادایم فعلی حل کند، مورد استقبال قرار می‌گیرد و به این شکل، درست همان‌طور که یک کریستال رشد می‌کند، قطعه‌ی جدیدی از علم، در تایید علوم قبلی و در چارچوب پارادایم فعلی، به ساختار موجود افزوده می‌شود.

فرض کنید در این میان، کسی تحقیقی کند یا نظریه‌ای مطرح کند که به شکلی کاملاً متفاوت و با پیش‌فرض‌ها و پارادایمی متفاوت، مسئله‌ای را که هم‌اکنون حل شده، مجدداً حل کند. چه کسی از او استقبال خواهد کرد؟ چه کسی به او کمک خواهد کرد تا مسائل بیشتری را حل کند و به تدریج، کریستال جدیدی حول یک پارادایم جدید شکل بگیرد؟

کسی که پارادایم جدیدی را مطرح می‌کند یا در چارچوب پارادایم جدیدی می‌اندیشد، معمولاً از جانب صاحب‌نامان و مشاهیر و دانشمندان معتبر زمان خود، خوش‌آمد نخواهد شنید. چون مسیر آنها را ادامه نداده است.

دومین بحثی که کوهن به آن اشاره می‌کند، ظهور و بروز نتیجه‌ها و چالش‌های نامتعارف و خلاف قاعده در علم است.

فرض کنید سوال و چالشی مطرح است که پارادایم فعلی نمی‌تواند به آن پاسخ گوید. یا آزمایشی انجام شده که نتیجه‌ی آن، به وسیله‌ی دانش فعلی و پارادایم فعلی قابل توجیه نیست.

^{۶۲} در مورد مفهوم تردید در علم هر چه بگوییم کم گفته‌ایم. چه بسیار تردیده‌های ارزشمند علمی، که در زیر روایت‌های تاریخی مدفون یا پنهان شده‌اند. شاید رنه دکارت مثال بسیار خوبی باشد. ما همه از دکارت یک جمله را به خاطر داریم: «می‌اندیشم، پس هستم». این جمله، حتی به دستاویزی برای طنز ساختن در میان نویسندگان و متفکران و حتی دانشجویان فلسفه نیز تبدیل شده است. اما جالب است که حتی مفهومی که از آن درک می‌کنیم، با معنایی که مد نظر دکارت بوده تفاوت جدی دارد. دکارت اهل تردید بود. شک دکارتی، از جمله شک‌های معروف در تاریخ است. دکارت به شیوه‌ی تحلیل کردنش تردید داشت. به شیوه‌ی استدلال کردنش تردید داشت. سعی می‌کرد در همه چیز تردید کند. می‌گفت هر بار که چیزی را می‌پذیرم، ممکن است گرفتار دام خطا و فریب شوم. آن‌قدر تردید را عمیق کرد تا به خودش رسید و گفت: آیا من اصلاً هستم؟ یا صرفاً فریب می‌خورم و فکر می‌کنم که هستم. بعد با خود گفت حتی اگر بخوام فریب هم بخورم، باید فکر و اندیشه‌ای باشد که فریب بخورد. پس تا فکر می‌کنم و می‌اندیشم، می‌توانم فرض کنم هستم. دقت داشته باشید که دکارت، بودن خودش را هم، نه به عنوان یک فکت علمی، بلکه به عنوان یک فرض علمی در نظر می‌گیرد تا بتواند جهان‌بینی خود را بر اساس آن بسازد.

اگر چنین مواردی محدود یا کم‌اهمیت باشند یا محققانی که چنین بحث‌هایی را مطرح می‌کنند، نتوانند پای آنها بایستند و به اندازه‌ی کافی از آنها دفاع کنند، احتمالاً این نهال جدید، در اثر طوفان‌های نقد و مقاومت، خواهد شکست و مسیر سابق پارادایم ادامه خواهد یافت.

اما به هر حال، زمانی می‌رسد که یا تعداد استثناءها و یا اهمیت آنها و یا پشتکار یک محقق چنان زیاد است که علم، مجبور می‌شود آن بحث را جدی بگیرد. در اینجا، کوهن از واژه‌ی **بحران**^{۶۳} استفاده می‌کند. پارادایم فعلی با بحران مواجه شده است. پس می‌کوشد برخی از پیش‌فرض‌های خود را تغییر دهد و شاید روش‌های متفاوتی برای مواجهه با مسئله و حل مسئله را جستجو کند. این همان پدیده‌ی **پارادایم شیفت** است که به اندازه‌ی خود واژه‌ی **پارادایم** در مدل ذهنی کوهن، نقش و اهمیت دارد.

موضوع کلیدی دیگری که کوهن مطرح می‌کند و من هم در صفحات قبل به آن اشاره کردم، بحث **قیاس‌ناپذیری**^{۶۴} است. بحث پوپر و کوهن هم که اشاره‌وار از کنارش رد شدیم، به این مقوله بازمی‌گردد.

کوهن به هیچ پارادایمی اجازه‌ی قضاوت و قیاس پارادایم‌های دیگر را نمی‌دهد. چون هر یک را جهانی دیگر می‌داند که پیش‌فرض‌هایی متفاوت و ارزش‌هایی متفاوت و الگوها و مدل‌هایی متفاوت را در اختیار گرفته‌اند.

او توضیح می‌دهد که دانشمندان و متفکران پارادایم‌های مختلف، حتی روی اینکه **چه سوالاتی مهم است و باید جواب داده شود** اتفاق نظر ندارند. پس چطور می‌توانند شیوه و روش یکدیگر را بسنجند و ارزیابی کنند؟

دومین نکته‌ای که کوهن اشاره می‌کند، تفاوت معنای واژه‌هاست که با استعاره‌ی سفر در موردش صحبت کردیم. ابوریحان و کوپرنیک و گالیله و نیوتون، همگی از آسمان سخن می‌گویند. اما آیا این واژه برای همه‌ی آنها یک معنا دارد؟

فضا واژه‌ای است که هم در ادبیات نیوتون وجود دارد و هم اینشتین. اما آیا می‌توان فرض کرد که این دو واژه‌ی یکسان در دو پارادایم، قرابت چندانی با هم دارند؟ آیا ناخودآگاه، آنچنانکه یونگ می‌گوید و آنچنانکه فروید می‌گوید یکسان است؟

آیا قلب، آنچنانکه ارسطو می‌گفت که قرار بود مرکز درک و ادراک باشد با قلب آنچنانکه ژوردانو برونو^{۶۵} می‌گفت و قرار بود پمپی برای خون باشد، یکسان است؟ حتی اگر هر دو، یک واژه را برای یک اندام در بدن به کار برند؟

^{۶۳} Crisis

^{۶۴} Incommensurability

^{۶۵} ژوردانو برونو، ریاضیان، فیلسوف، شاعر و منجم بزرگ قرن شانزدهم بود که به خاطر باور به نقش مکانیکی قلب و اینکه آن را اندام اندیشیدن و ادراک نمی‌دانست و چند مورد از باورهای نجومی‌اش که با نگرش کلیسا در قرون وسطی همسو نبود، بریان شد. بریان شدن، یکی از مجازات‌های قرون وسطی بود که فرد را بدون لباس، روی چوب می‌بستند و در فاصله‌ای روی آتش می‌گذاشتند که آتش نگیرد و حداقل دو شبانه روز زنده بماند تا بمیرد. معمولاً میخی هم در پای فرد فرو می‌کردند تا گرما به درون پایش نفوذ کند و فریادهای بلندتر بزند. چون بر این باور بودند که این فریادها، باعث می‌شوند که دیگران، سرمشق بگیرند و در مسیر علم، منحرف نشوند. کلیسا در سند مربوط به مجازات او، جرمش را تکیه‌ی بیش از حد به منطق به جای درک حقیقت مسیحیت اعلام کرده است. هفدهم فوریه‌ی هر سال، به یاد هفدهم فوریه‌ی سال ۱۶۰۰ میلادی که سالگرد برونو است، اندیشمندان جهان در نقاط مختلف، یاد برونو را گرامی می‌دارند.

نکته‌ی سومی که کوهن اشاره می‌کند از دو نکته‌ی قبل هم عمیق‌تر است. کوهن می‌گوید که کسانی که در پارادایم‌های متفاوت زندگی می‌کنند، جهان‌های متفاوتی را می‌بینند و اصلاً جهان مشترکی برای حرف زدن و اندیشیدن و سنجیدن و نقد کردن یکدیگر ندارند.

به عبارتی، او به این نکته اشاره دارد که ذهن ما، بر اساس مفروضات و داشته‌های خود، آنچه را در بیرون وجود دارد ادراک می‌کند. بنابراین، حتی آزمایش‌ها، حتی مشاهدات و حتی داده‌هایی که دانشمندان از یک محیط یا یک سیستم برمی‌گیرند، الزاماً یکسان نیستند.

چه بسا، آنچه یک پارادایم، قاعده می‌گیرد برای پارادایمی دیگر، استثناء باشد و چه بسا، آنچه دو پارادایم، به عنوان نويز یا داده‌های خارج از نمودار کنار می‌گذارند، خوراک اصلی پارادایمی دیگر باشد. در حدی که تمام داشته‌ها و داده‌های دو پارادایم قبل را نويز یا انحراف در نظر بگیرد.

سنگی را در نظر بگیرید که به نخ‌ی آویخته است و در باد تکان می‌خورد. ارسطو آن را سنگی می‌بیند که نخ مانع سقوطش شده و گالیله آن را یک آونگ می‌بیند. این دو نفر، حتی در توصیف اینکه چه دیده‌اند، اتفاق نظر ندارند. چه برسد به اینکه در مورد آنچه دیده‌اند، چه بپرسند.

فرانسیس بیکن

تفاوت بزرگی بین **شادی** و **شعور** وجود دارد. انسانی که می‌گوید من احساس می‌کنم که شادترین فرد روی زمین هستم. احتمالاً درست می‌گوید. چون شادی، از مقوله‌ی احساس است. اما کسی که می‌گوید من با شعورترین فرد روی زمین هستم، احتمالاً احمق‌ترین فرد روی زمین است.

فرانسیس بیکن

هر نوع مطالعه از مفهوم پارادایم را باید با نشستن در کنار فرانسیس بیکن^{۶۶} و هم‌کلامی با او آغاز کرد.

بی‌تردید می‌توان گفت که بدون بیکن، علم و دانش و نگرش انسان، در مسیر دیگری می‌رفت. از این منظر، گزاف نیست اگر جایگاهی در حد حکیمان کلاسیک تاریخ - کسانی مانند سقراط و افلاطون و ارسطو - به او بدهیم.

پدر بیکن مُهردارِ دربار انگلیس بود. این سمت را تقریباً می‌توان چیزی شبیه وزیر خزانه داری یا رییس بانک مرکزی دانست. بیکن در نیمه‌ی قرن شانزدهم (۱۵۶۱) به دنیا آمد و پس از تحصیل در رشته‌ی حقوق و طی کردن مدارج سیاسی و برنده شدن در انتخابات و حضور در پارلمان، نهایتاً در اوایل قرن هفدهم، در شرایطی که به شدت مورد اعتماد شاه

^{۶۶} Francis Bacon

زمان خودش^{۶۷} بود، به سمت مُهردار سلطنتی - یعنی همان سمتی که پدرش عهده‌دار آن بود - منسوب شد و عملاً به دست راست شاه تبدیل شد.

یکی از رویدادهایی که مسیر جهان را تغییر داد، جنگ قدرت بین پارلمان و پادشاه انگلیس بود. در این جنگ قدرت، فرانسیس بیکن به فساد مالی و دریافت رشوه متهم شد و از کار دولتی کنار گذاشته شد. البته رشوه گرفتن او قطعی است. شاید تنها دفاعی که می‌توان از او کرد این است که در شرایطی که همه رشوه می‌گرفته‌اند، چرا او را به فساد متهم کرده‌اند. به هر حال، همین انفصال از خدمات دولتی به خاطر فساد مالی بود که باعث شد فرانسیس بیکن خانه نشین شود و همان کاری را که از جوانی قصد آن را داشت و بارها رویایش را مطرح کرده بود عملی سازد. او در مدت باقیمانده، بنیاد علم را برای همیشه دگرگون کرد.

جزئیات چندانی از کسانی که به او رشوه داده‌اند در تاریخ ثبت نشده و فقط می‌دانیم که اتهام او مربوط به چهار فقره رشوه بوده است. اما قطعاً این چهار نفر، با اقدام غیراخلاقی خود، زمینه‌ساز تحولی بزرگ در خدمت ارزش و اخلاق در مسیر تاریخ علم بوده‌اند.

بیکن، پروژه‌ای به نام **نوسازی بزرگ**^{۶۸} تعریف کرد. تصمیم گرفت در شش مجلد، همه‌ی آنچه را که برای نوسازی اندیشه‌ی بشر لازم بود، گردآوری، تالیف و تدوین کند^{۶۹}. او خود نیز می‌دانست که چنین پروژه‌ای در عمر یک انسان نمی‌گنجد. اما تصمیم گرفت این کار را تا آنجا که می‌تواند پیش ببرد.

آنچه در مجموعه‌ی **نوسازی بزرگ** کامل‌تر از سایر اجزا است و اتفاقاً بیش از همه شناخته شده است، کتاب ارغنون جدید^{۷۰} است. در نگاه اول، شاید نام این کتاب، ادای احترامی به ارسطو به نظر برسد. اما وقتی کتاب را می‌خوانیم، می‌بینیم

^{۶۷} جیمز اول پادشاه انگلستان، پنج سال از فرانسیس بیکن جوان‌تر بود. بیکن هم یک سال پس از مرگ او در سال ۱۶۲۶ درگذشت. این دو به معنای لغوی و اصطلاحی، معاصر بوده‌اند.

^{۶۸} Great Renewal

^{۶۹} مجموعه کتابهای **نوسازی بزرگ**، تنها کارهای مکتوب فرانسیس بیکن نبودند. او کتاب جالبی به نام **آتلانتیس** هم دارد. در آن کتاب، زندگی در جزیره‌ای خیالی را به تصویر می‌کشد. در آن جزیره حاکمیت و مدیریت در اختیار دانشمندان است و به هیچ کشیشی اجازه قدرت‌نمایی داده نمی‌شود. او در کتاب **آتلانتیس** خود ظهور برخی از اختراعات قرن‌های آتی مانند خودرو، هواپیما و رادیو را پیش‌بینی می‌کند. در واقع **آتلانتیس** او این وسایل را دارد. با توجه به اینکه بیکن در کتاب **آتلانتیس** خود، بر ساختار مدیریتی با اتکا به دانشمندان تأکید می‌کند، می‌توان آن را به نوعی با نگرش افلاطون که مدینه‌ی فاضله‌ی خویش را در اختیار فیلسوفان قرار می‌دهد مقایسه کرد.

^{۷۰} Bacon, F., Jardine, L., & Silverthorne, M. (2000). *The new organon*. Cambridge: Cambridge University Press.

که این کتاب دقیقاً نوعی تفهیم اتهام به ارسطو است و اگر چه به خود او و شخص او احترام گذاشته شده است، اما تمام تاکید کتاب بر این است که دنیای جدید را باید با عبور از افکار قدیمی کشف و تجربه کرد.^{۷۱}

توضیحاتی که فرانسیس بیکن در کتاب ارغنون جدید مطرح می‌کند، هنوز هم می‌تواند برای علاقمندان به مدل ذهنی و پارادایم‌ها، مفید و آموزنده باشد.

او در کتاب خود، به **روش** و اهمیت **روش علمی** اشاره می‌کند. البته نامی که بیشتر به کار می‌برد **فلسفه‌ی طبیعی** است. فرانسیس بیکن در کتابش به وجود خداوند اشاره می‌کند و تلاش برای کشف قوانین طبیعت را بزرگترین بندگی خداوند می‌داند. او در پایان کتابش دعا می‌کند که خداوند کتابش را از شر بندگان خداوند حفظ کند.

یکی از محورهای کلیدی نگرش بیکن، بحث **اعتبار** و **اعتبارسنجی** است. تا قرن پانزدهم و شانزدهم میلادی، اعتبار حرف‌ها تا حد زیادی به گوینده‌ی حرف‌ها ربط داشت.

مثلاً چون ارسطو گفته بود که برخی انسان‌ها، ذاتاً برده‌اند، هر وقت در مقام استدلال علمی و بحث‌ها به موضوع بردگی می‌رسیدند می‌گفتند: همان‌طور که می‌دانید همچنانکه ارسطو گفته است، برخی انسان‌ها ذاتاً برده هستند.

جالب اینجاست که هم گوینده و هم شنونده، این شیوه‌ی مباحثه و استدلال را علمی می‌دانستند و مشکلی با آن نداشتند. فرانسیس بیکن بر این باور بود که هر کسی، هر چقدر هم بزرگ، تا زمانی که شواهد علمی و طبیعی برای حرف خود نداشته باشد، آنچه می‌گوید صرفاً **دیدگاه** اوست و نه یک **نظریه‌ی علمی**.

بیکن همچنین نقد مهم دیگری هم به روش سنتی داشت. او می‌گفت حکیمان کلاسیک و به طور خاص افلاطون و ارسطو، ابتدا نظریه پردازی می‌کنند و سپس می‌کوشند تمام رویدادهای جهان را بر اساس نظریه‌ی خود توصیف و تشریح کنند.

در حالی که روش علمی این است که ابتدا رویدادهای جهان را بررسی کنیم و سپس به روش استقراء، سعی کنیم قوانین فراگیرتری بیابیم و به تدریج یک نظریه‌ی علمی را شکل دهیم.

یکی از اصطلاحاتی که بیکن به آن علاقه‌ی زیاد دارد، **اندیشیدن آرزومندانه**^{۷۲} است. به این معنا که انسان‌ها، ابتدا به آرزوهایی که در مورد خود و دنیا دارند فکر می‌کنند و سپس آن‌قدر می‌اندیشند تا روشی برای اثبات آن پیدا کنند. او به جای اصطلاح **خرافات**، در بیشتر نوشته‌هایش از اصطلاح **اندیشیدن آرزومندانه** استفاده می‌کند.

^{۷۱} این شیوه نام‌گذاری با استفاده از اسامی قدیمی و با اتکا به سابقه‌ی آنها، موارد مشابه زیادی دارد. کتاب چنین گفت زرتشت نیچه نیز داستان مشابهی دارد. عنوانش، نوعی ادای احترام به زرتشت به نظر می‌رسد. اما بعداً می‌بینیم که نیچه توضیح می‌دهد که تمام اساس فلسفه‌ی او، عبور از مفهوم نیک و بد است و چون نخستین کسی که مفهوم نیکی و گفتار نیک و پندار نیک و کردار نیک را مطرح کرده زرتشت بوده، نیچه حرف‌های خود را در دهان زرتشت قصه‌اش می‌گذارد تا به نوعی از او انتقام گرفته باشد.

^{۷۲} Wishful thinking

یکی دیگر از محورهای کلیدی کتاب ارغنون جدید، بحث **سوگیری‌های ذهنی** است. البته فرانسویس بیکن از اصطلاح سوگیری استفاده نمی‌کند. او اصطلاح بُت^{۷۳} را به کار می‌برد.

بیکن توضیح می‌دهد که هدف علم، پاک کردن ذهن از بت‌هایی است که آن را آلوده کرده‌اند. بت‌هایی که اگر مراقب نباشیم، مغز به جای خدمت به علم و طبیعت، صرفاً می‌کوشد رضایت آنها را تامین کند. یکی از بت‌هایی که او به آن توجه دارد، **بت قبیله** است. او می‌گوید انسان‌ها، یک قبیله‌ی بزرگ بر روی زمین هستند که خود را متفاوت و متمایز با همه‌ی آنچه بر روی زمین است می‌بینند. به همین علت، در تجربه‌های خود و تحلیل‌های خود و توصیف خود از جهان، همواره به شکلی فکر می‌کنند که ناخواسته در خدمت این بت قرار می‌گیرند.

می‌توان گفت در نگاه بیکن، **بت قبیله**، همه‌ی خطاهایی هستند که در ذهن نژاد انسان وجود دارند. بعضی از این خطاها در اثر ضعف قوای ذهنی ما به وجود آمده‌اند و برخی دیگر، اتفاقاً برای زندگی ما انسان‌ها ضروری بوده‌اند. او یکی از ویژگی‌های روش علمی را این می‌داند که شما در پی کشف حقیقت عالم باشید و نه خدمت به انسان و خواسته‌های انسان.

بیکن همچنین توضیح می‌دهد که بسیاری از الگوهایی که انسان‌ها در طبیعت کشف می‌کنند یا اهدافی که برای سایر موجودات تشریح و تبیین می‌کنند، صرفاً در اثر وسوسه‌ی این بت درونی شکل گرفته است و نه در پی تلاش برای شناخت واقعیت.

بت دیگری که فرانسویس بیکن به آن اشاره می‌کند **بت غار** است. غاری که بیکن مد نظر دارد با غاری که افلاطون به آن اشاره می‌کند هیچ ارتباطی ندارد. بیکن، خطاهای مشترک همه‌ی انسان‌ها را **بت قبیله** نامیده بود. سپس خطاهایی را که مختص هر یک از ماست، **بت غار**^{۷۴} می‌نامد.

در این مدل‌سازی بیکن می‌گوید درون هر یک از ما غار تاریکی است که خاطرات، باورها، عادت‌ها، خُلق و خو، تجربه‌های محیطی، شنیده‌ها و ترجیحات‌مان در آن قرار دارند. هیچکس، حتی خودمان به درستی با بت‌های داخل این غار آشنا نیستیم. اما بسیاری از رفتارها و قضاوت‌هایمان در خدمت این بت‌هاست و عملاً آنها بر تصمیم‌ها و رفتارها و انتخاب‌های ما حکم می‌رانند.

بت دیگری که بیکن به آن اشاره می‌کند **بت بازار**^{۷۵} است. برای اینکه بت بازار را در نگاه بیکن بهتر بفهمیم، مناسب است ابتدا به واژه‌ی بازار و استعاره‌ی بازار در ذهن بیکن فکر کنیم.

^{۷۳} Idol

^{۷۴} Idols of the cave

^{۷۵} Marketplace Idols

بازار، پول و معامله چگونه به وجود آمدند؟ آیا معامله کردن خود یک هدف بود؟ آیا پول در ذات خود ارزش داشت؟ معامله کردن برای تبادل داشته‌های ما بود و پول برای ذخیره کردن آنچه داریم و مقایسه کردن ارزش داشته‌هایمان با دیگران و به قول اقتصاددان‌ها ابزاری برای تبادل^{۷۶}.

بیکن همین استعاره را به دنیای کلمات می‌آورد. آیا کلمات به ذات خود ارزشی دارند؟ آیا گفتگو به خودی خود ارزشمند است؟ داشته‌های هر انسانی، تجربیات ذهنی و فهم اوست. کلمات در اینجا ابزار واسط هستند و گفتگو شبیه معامله است. ما فهم خود را به دیگران می‌دهیم و بخش‌هایی از فهم دیگران را از آنها می‌گیریم و هم‌چنانکه اقتصاد و بازار، با مبادله‌های سالم، رشد می‌کنند و بالنده می‌شوند، انسان‌ها هم با گفتگوی سالم از طریق کلمات، رشد می‌کنند و به تعالی می‌رسند. همان‌طور که در زندگی مبتنی بر بازار، گاه خود معامله و خود پول ارزشمند می‌شوند و ما یادمان می‌رود که اینها صرفاً ابزار بوده‌اند، کلمات و گفتگو هم برای اندیشمندان چنین کاربردی پیدا می‌کنند. یادمان می‌رود که کلمه، باید ما به ازاء بیرونی داشته باشد. کلمه خود باید به چیزی که واقعاً هست یا می‌تواند باشد اشاره کند. غیر از این، آنها که گرفتار بازی با کلمات و استدلال‌های پوچ فلسفی می‌شوند در نگاه بیکن، با آنها که سکه بر روی سکه می‌چینند و هیچ دستاوردی کسب نمی‌کنند، تفاوتی ندارند.

او همچنین از کلمات به عنوان ابزاری که هم‌زمان مفید و محدودکننده است یاد می‌کند. بیکن توضیح می‌دهد که «انسان فکر می‌کند منطق و اندیشه‌اش بر کلماتش حاکم است. حال آنکه کلماتش هم به همان نسبت بر منطق و شیوه‌ی اندیشیدن او حاکمیت دارند».

می‌توان حدس زد که اگر بیکن زنده بود و نوشته‌های کسانی مانند ویتگنشتاین را می‌خواند، چقدر با او احساس همدلی و هم‌زبانی می‌کرد.

بیکن همچنین به مفهوم کلمات عینی و ذهنی^{۷۷} نیز توجه دارد و یادآوری می‌کند که مفهوم کلماتی مانند سبک، سنگین، کمیاب و چگال، به ادراک انسان‌ها بستگی دارد.

بت‌های نمایش^{۷۸}، عنوان مجموعه‌ی دیگری از خطاهای شناختی انسان است که بیکن آنها را مورد توجه قرار می‌دهد. استعاره‌ی تئاتر و نمایش هم از جمله استعاره‌های زیبای بیکن است. ویژگی اصلی نمایش چیست؟ اینکه عده‌ی کمی روی سن قرار می‌گیرند و صحنه را می‌سازند و نورها بر روی آنها متمرکز می‌شود و رفتار آنها دیده می‌شود و حرف آنها شنیده می‌شود. دیگران – همان‌ها که تماشاچی نامیده می‌شوند – در تاریکی هستند. فقط وظیفه دارند ببینند و هر جا که مناسب بود کف بزنند.

بیکن معتقد است که دنیای اندیشه هم گرفتار همین نمایش‌هاست. عده‌ای به عنوان کسانی که انجیل را بهتر از دیگران می‌فهمند، به عنوان کسانی که علم را بهتر از دیگران می‌فهمند، به عنوان کسانی که فلسفه را بهتر از دیگران می‌فهمند،

^{۷۶} Means of exchange

^{۷۷} Objective vs. Subjective words

^{۷۸} Theater Idols

صحنه‌آرای اندیشه‌ی بشر می‌شوند. دیگران باید در سکوت آنها را نظاره، تحسین و حتی تقییح کنند. اما هیچ کدام از این رفتارها، بر جایگاه ویژه‌ی آن نمایش‌گران تاثیر نمی‌گذارد.

بیکن معتقد است که راه پیشرفت علم را الزاماً مردم نادان نمی‌بندند. بلکه دانایان نسل قبل می‌بندند که حاضر نیستند کسی با اندیشه‌ی متفاوت وارد صحنه‌ی نمایش آنها شود.

او در کتاب ارغنون جدید توضیح می‌دهد که: «انسان‌ها گاهی به خاطر تلاش‌ها و دردهایی که در راه درک یا توسعه‌ی یک نظریه یا باور متحمل شده‌اند، به آن باورها و دیدگاه‌ها دلبسته می‌شوند».

فقط کمی با خودتان فکر کنید و ببینید توماس کوهن که چند قرن بعد از پارادایم می‌گفت، آیا چیزی بیش از حرف بیکن در ذهن داشت؟

حرف بیکن این بود که در فضای علمی و در بحث علمی، آنچه مهم است روش^{۷۹} است. هیچ انسانی، به خاطر سابقه‌اش، یا موقعیتش، اعتباری ندارد که حرفش به صرف آنکه او حرفی را زده است پذیرفته شود.

بیکن اعتبار حرف‌ها را بر اساس اعتبار روش‌ها می‌سنجد و نه اعتبار گوینده‌ها و این همان حرفی است که بعداً کوهن هم به آن توجه دارد. افراد معتبر و مرجع و ذی‌صلاح، الزاماً صلاح حوزه‌ی خویش را حفظ نمی‌کنند. آنها بعضاً آگاهانه و عموماً ناآگاهانه، صلاح خویش را حفظ می‌کنند.

بیکن دو نوع اعتبار را کاذب می‌داند. یکی اعتبار ناشی از گوینده و دیگری اعتبار ناشی از باور اکثریت. او توضیح می‌دهد که اگر تمام جهان به یک حرف باور داشته باشند، اما روشی منطقی و علمی و تجربی برای رسیدن آن حرف وجود نداشته باشد، آن حرف می‌تواند نادرست باشد.

یادمان باشد که این حرف‌ها که امروز برای هر صاحب عقل و شعوری بدیهی به نظر می‌رسد، آن‌سالها چندان بدیهی نبود. گالیله هفت سال پس از مرگ بیکن، روبروی کشیشان در دادگاه ایستاده بود و در دفاع از چرخش زمین می‌گفت: چرا اگر تمام مردم جهان فکر می‌کنند زمین ثابت است، این توافق عمومی را باید به عنوان قانون علمی بپذیریم؟

تمام آنچه بیکن مطرح کرد، امروز تحت عنوان روش شناخته می‌شوند و این واژه‌ی روش یا متود، چتری است که تمام اندیشه‌ی بیکن را تحت خود پوشش می‌دهد.

بیکن به گذشتگان احترام می‌گذاشت. بیکن سقراط و ارسطو و افلاطون را اندیشمند و در جستجوی حقیقت می‌دانست. او حتی معتقد بود که ارسطو و برخی دیگر از حکیمان یونان، جزو هوشمندترین انسان‌های تاریخ بوده‌اند و چه بسا امروز نیز کمتر کسی به اندازه‌ی آنها هوشمند باشد.

اگر افلاطون تا نقطه‌ای رفت و متوقف شد، اگر ارسطو جهان را تا حد مشخصی درک و تجربه کرد، این ناشی از درک پایین آنها یا کمبود هوش آنها نبوده است. این محدودیت روش اندیشیدن آنها و روش آزمون آنها بوده است.

تمام شکست‌های علمی گذشتگان، در همیشگی تاریخ، چه تمام سال‌هایی که بر ما گذشته‌اند و چه قرن‌ها و هزاره‌هایی که بر فرزندان ما خواهند گذشت، شکست روش هستند و نه شکست اندیشه.

بیکن برای ساده‌ترین چیزها آزمایش می‌کرد و روش تجربی برایش مهم بود. شاید به زبان امروزی بتوانیم بگوییم به ترمودینامیک بیش از سایر شاخه‌های فیزیک علاقه داشت. مثال‌ها و تحلیل‌های زیادی را می‌توانید در کتابش بیابید که در گروه ترمودینامیک قابل طبقه‌بندی هستند.^{۸۰}

او نهایتاً زندگی‌اش را هم بر سر تجربه کردن باخت. او می‌خواست ببیند که گوشت در سرما و انجماد تا چه مدت سالم می‌ماند. یک زمستان برفی را به این آزمایش اختصاص داد و هر روز میزان سالم بودن گوشت در سرما را آزمایش می‌کرد. او در اثر سرما بیمار شد و در اثر آن بیماری فوت کرد. اما حاضر نشد مدت زمان سالم ماندن گوشت در سرما را بدون تجربه و فقط از روی حدس برآورد کند.

کتاب بیکن، هرگز تمام نشد. اگر چه به نظر می‌رسد که او هم قصد تمام کردن آن را نداشته است. این را از بحث‌های بسیار گسترده و متنوعی که نیمه کاره مطرح کرده و رها کرده می‌توان فهمید. همچنین از هدف‌های بزرگی که انتخاب کرده بود. از جمله ثبت کردن دستاوردهای تمام تجربیات علمی و روشمند انسان‌ها در یک جلد.

ظاهراً سنت بسیاری از بزرگان است که کتاب‌هایشان را برای تمام شدن نمی‌نویسند. بلکه صرفاً به عنوان گزارشی از مسیر خود ثبت و مستند می‌کنند. اگر چه اغراق نیست اگر بگوییم هر آنچه تا امروز علم به آن رسیده، ادامه‌ی کتاب کوچک اما اثرگذار بیکن است.

اگر چه بیکن تا پایان بحث پیچیدگی در کنار ما خواهد بود. اما اجازه بدهید این بخش را که مختص خود اوست با جملاتی از خودش در کتاب ارغنون جدید به پایان ببرم:

انسان‌ها برای اندیشیدن به موضوعات مختلف، گاهی به شباهت‌های آن موضوع‌ها توجه می‌کنند و گاهی به تفاوت‌هایشان. اما هر دو شیوه در حالت افراطی خود، به خطا می‌روند: گاهی، تفاوت‌های کم‌اهمیت را جدی می‌گیرند و گاه شباهت‌های کوچک و بی‌معنا را مهم و معنادار قلمداد می‌کنند.^{۸۱}

^{۸۰} بیکن هم، در کتاب خود اشتباهات علمی متعددی دارد. مثلاً شاید پرایتان جالب باشد که وقتی از حرارت سخن می‌گوید، منشاء حرارت را حرکت و جنبش در نظر می‌گیرد. شاید تا اینجا خوشحال شوید و از عمق نگرش این دانشمند بزرگ شگفت‌زده شوید. اما در ادامه می‌بینید که برای اثبات نظرش، به این مسئله اشاره می‌کند که وقتی آتش را در جایی بسیار تنگ محبوس می‌کنید، چون نمی‌تواند حرکت کند خاموش می‌شود. البته وقتی به خاطر می‌آوریم که بیکن بیش از چهار قرن پیش زندگی می‌کرده است و نیز به یاد می‌آوریم که با وجود تسلط علمی‌اش در زمان خویش، هرگز ادعا نکرد که درست می‌فهمد و درست می‌گوید و نظریه‌های علمی را صرفاً پیشنهادی به نسل آینده می‌دانست تا با تحقیق و تجربه، آنها را تایید یا رد و پاکسازی کنند، باز هم به احترامش کلاه از سر برمی‌داریم.

^{۸۱} کمتر مهارتی وجود دارد که بتوانم بپذیرم در یادگیری و نیز در توسعه‌ی نظریه‌های علمی، به اندازه‌ی آنالوژی یا قیاس، حائز اهمیت باشد. در اینجا فرانسویس بیکن، به شکلی ساده اما دقیق، مرزهای خطرناک آنالوژی را معرفی می‌کند: دیدن آنالوژی در جایی که آنالوژی قابل اعمال نیست و جدی نگرفتن آنالوژی در جایی که واقعاً آنالوژی قابل تصور است.

گاليله: حرفی درست بر پایه‌ی استدلالی نادرست

ابر و باد و مه و خورشید و فلک در کارند

تا تو نانی به کف آری و به غفلت نخوری

سعدی در گلستان (سه قرن قبل از گاليله)

نمی‌خواهم باور کنم خدایی که به ما حواس، منطق و قدرت اندیشیدن را داده، انتظار داشته باشد که از این نعمت‌ها استفاده نکنیم.

گاليله (در نامه‌ی تاریخی به کریستین دو لورن)

اگر بخواهیم صفت نابغه را تنها برای یکی از دانشمندان قرون وسطی به کار ببریم، قطعاً در کنار نیوتون، گاليله هم جزو نامزدهای اصلی دریافت این عنوان خواهد بود.^{۸۲}

گاليله در میانه‌ی قرن شانزدهم یعنی در سال ۱۵۶۴ در پیزای ایتالیا متولد شد و در دانشگاه پیزا هم درس خواند. یکی از بخت‌های بزرگ بشریت این است که او چندان به توصیه‌ی پدرش توجه نکرد و به جای پزشکی که آرزوی پدرش بود، در دانشگاه پیزا به مطالعه‌ی فیزیک پرداخت.

^{۸۲} متأسفانه جامعه‌ی عمومی در ایران و جهان، گاليله را بیشتر به واسطه‌ی کارهای هنری مثل نمایشنامه‌ی زندگی گاليله (کار برتولت برشت) می‌شناسد. نمی‌خواهم در این زمینه موضع قطعی بگیرم. اما حیفم می‌آید نگویم که احساس می‌کنم آشنایی با تاریخ از طریق هنر و بدون مراجعه به کتاب علمی و منابع تاریخی، باعث شده است که تاریخ، قربانی جذابیت روایت شود. نمایشنامه‌ی برشت، چنان به جنبه‌های دراماتیک و جمله‌سازی‌ها و جمله‌بازی‌های تأثیرگذار مشغول شده که بخش‌های زیادی از واقعیت‌های تاریخی در آن حذف شده است. این نوع روایت‌های کاریکاتوری از تاریخ در بسیاری از کارهای هنری مشاهده می‌شوند و شاید بتوان گفت که گریزی هم از آنها نیست.

آلن دوباتن در نخستین فصل کتاب تسلی‌بخش‌های فلسفه، با لحن طنزآلود – اما دقیق – همیشگی‌اش، به اثر هنری ژاک لویی داوید از دادگاه سقراط اشاره می‌کند. افلاطون در آن زمان ۲۹ ساله بوده. اما چون تصویر یک جوان بیست و نه ساله آن‌قدرها که باید و شاید، احساسات مخاطب را برنمی‌انگیخته است، ما او را در قالب یک پیرمرد غمزده می‌بینیم. حتی می‌بینیم که نقاش قصد داشته سقراط را در حال سر کشیدن پیاله‌ی شوکران تصویر کند. اما دوست شاعرش (آندره شنیه) به او می‌گوید که این نوع تصویرسازی، تنش دراماتیک کافی ندارد. بهتر است سقراط در حال حرف زدن باشد و دستش را به سمت شوکران دراز کرده باشد.

در کشور خودمان هم طی سال‌های اخیر که تئاترهای متعددی در مورد تاریخ سیاسی، اجتماعی و ادبی اجرا شده‌اند، با جماعتی «تئاتر-برو» مواجه هستم که شب‌های خود را در سالن‌های نمایش می‌گذرانند و روزهای خود را به روایت تاریخ صرف می‌کنند. در حالی که تنها دانسته‌های تاریخی‌شان به درام‌های تاریخی محدود می‌شود که به خاطر نگه‌داشتن مخاطب پای پرده، مجبورند از دقت روایت بکاهند و بر قاطعیت حکایت بیفزایند.

قطعاً هنر در ایران و جهان، محرک بزرگی برای رشد علم و دانش و نگرش بوده است. اما به شرطی که نقطه‌ی آغاز باشد و نه نقطه‌ی پایان. نمایشی که از زندگی یک شخصیت تاریخی اجرا می‌شود، وقتی اثربخش است که بتواند مخاطب را به مطالعه‌ی منابع متعدد متفاوت و بعضاً متعارض وادار کند. اما اگر فقط قرار باشد نتیجه‌ی آن گذران وقت باشد و تهیه‌ی خوراک برای گفتگو پای میز مهمانی‌ها و کافی‌شاپ‌ها، حاصل همان چیزی می‌شود که این روزها زیاد می‌بینیم.

بگذریم. می‌خواستم بگویم گاليله هم، مانند بسیاری از شخصیت‌های تاریخی، قربانی جذابیت دراماتیک داستان زندگی‌اش شده و دیدگاه‌ها و دغدغه‌ها و کارهای درست و اشتباهش کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در آن زمان، فیزیکی که آموزش داده می‌شد فیزیک ارسطویی بود. ارسطو توانسته بود مدلی از علم را پیشنهاد کند که ضمن احترام به چارچوب‌های کلیسایی، کنجکاوی اندیشمندان را هم حداقل برای شانزده قرن پس از میلاد مسیح ارضا کند.

فقط با درک عظمت ارسطو در نگاه دانشگاهیان آن زمان است که می‌توانیم بزرگی گالیله را بیشتر و بهتر بفهمیم. گالیله معتقد بود که فیزیک ارسطویی، فیزیک بازی با کلمات است و ارسطو برای مشاهدات علمی فیزیکی، ارزش چندان والایی قائل نبوده است.

آن زمان، نگاهی که در نجوم مورد توجه قرار می‌گرفت، نگاه زمین‌مرکز بود. چیزی که در زبان انگلیسی به آن ژئوسنتریک می‌گویند. ارسطو که گالیله او را بیش از فیزیکدان، خطیبی آرجمند و توانمند می‌دانست گفته بود که وقتی اجسام را رها می‌کنی، دوست دارند به جای واقعی‌شان در مرکز جهان بازگردند و هر چه سنگین‌تر باشند و نفوذ زمین بر آن‌ها (یا میل زمین به آنها) بیشتر باشد، قدرت و سرعت آنها در بازگشت به مرکز جهان – که همان زمین است – بیشتر خواهد بود.

معمولاً قانون گرانش ارسطو را به این صورت خلاصه می‌کنند: سرعت سقوط اجسام متناسب با وزن آنهاست.

گالیله در هجده سالگی، وزنه‌ای را از نخ آویخته بود و آن را تاب می‌داد. گاه ساعت‌ها مشغول تماشای آن می‌شد. چرا باید این جسمی که به سمت زمین پایین می‌آید در آخرین لحظه پشیمان شود و به مسیر خود ادامه دهد و از زمین فاصله بگیرد؟ آیا اراده‌ی این نخ، به اندازه‌ی اراده‌ی زمین مهم است؟ چرا با تغییر وزن وزنه‌ی آونگ، سرعت رفت و برگشت (فرکانس) آن تغییر نمی‌کند؟ مگر نوسان آونگ هم، شکلی از سقوط نیست؟

این حرف‌ها امروز برای ما ساده و واضح به نظر می‌رسند. اما فراموش نکنیم که آن زمان، چنین حرفی مورد پذیرش نبود. مردم عادت جالبی دارند. وقتی به چیزی باور دارند، ترجیح می‌دهند مثال‌های بیشتری از آن را ببینند و سایر تجربه‌ها را یا انجام ندهند و یا به دست فراموشی سپارند.

به همین علت است که مردم، هر روز با دیدن سقوط سریع اجسام سنگین و سقوط آهسته‌ی کاغذ و پر، احترام و تقدسی بیشتر برای ارسطو قائل می‌شدند و هر بار هنگام عبور از کنار آونگ گالیله، سعی می‌کردند این جسم بی‌خاصیت معلق را که چندان به قواعد ارسطویی توجه نداشت، فراموش کنند.

گالیله، بر این باور بود که فیزیک، اگر به مشاهده و آزمایش متکی نباشد، ناخواسته به خرافات و جهل اتکا خواهد کرد. از این رو، مدام می‌کوشید از طریق آزمایش و مشاهده‌ی تجربه، اعتبار آموزه‌های دانشگاهی و حرف‌های بزرگان تاریخ را بیازماید.

یکی از کارهای بزرگ گالیله، تفکیک ویژگی‌های مواد به دو دسته‌ی ویژگی‌های اولیه و ثانویه بود.

ویژگی‌های اولیه، چیزهایی هستند که به سادگی قابل سنجش و مقایسه هستند و اگر انسان‌های متفاوتی آنها را اندازه بگیرند و بررسی کنند، به نتایج یکسان (یا بسیار مشابه) می‌رسند. وزن، طول، عرض و ارتفاع، نمونه‌هایی از ویژگی‌های اولیه هستند.

اما ویژگی‌های ثانویه، ویژگی‌هایی هستند که موجود زنده دیگری باید باشد و آنها را بسنجد و اگر آن موجود عوض شود، ممکن است نتیجه‌ی سنجش هم تغییر کند. رنگ و بو، نمونه‌هایی از ویژگی‌های ثانویه محسوب می‌شوند. اگر بخواهیم

حرف‌های گالیله را به زبان امروز ترجمه کنیم، باید بگوییم که گالیله ویژگی‌های عینی را ویژگی‌های اولیه و ویژگی‌های ذهنی را ویژگی‌های ثانویه می‌دانست.

گالیله تاکید داشت که علم، فقط می‌تواند و فقط حق دارد در مورد ویژگی‌های اولیه حرف بزند و مطالعه کند و ویژگی‌های ثانویه تنها زمانی قابل بحث و مطالعه هستند که به ویژگی‌های اولیه قابل تبدیل و ترجمه باشند.

او در بیست و دو سالگی، مفهوم تعادل هیدروستاتیک را اختراع کرد و نخستین قوانین حاکم بر فشار سیالات را ابتدا تجربه و سپس تدوین کرد.

گالیله به شدت به نجوم علاقه داشت و با درست کردن تلسکوپ توانست در سال ۱۶۱۰ میلادی، چهار قمر از قمرهای مشتری را به چشم ببیند. او حلقه‌های زحل را هم به چشم خود دید و فازهای مختلف چهره‌ی سیاره‌ی زهره را نیز مشاهده کرد.

اما احتمالاً وقتی نام گالیله را می‌شنوید، در کنار بحث دادگاه و چرخش زمین، تصویر دیگری هم در ذهن شما مجسم می‌شود: گالیله‌ای که به بالای برج پیزا رفته و دو جسم سبک و سنگین را رها می‌کند تا نشان دهد آنها هم‌زمان به زمین می‌رسند.

فراموش نکنیم که بر طبق فیزیک ارسطویی، جسم سنگین‌تر باید سریع‌تر به مرکز هستی – که همان زمین بود – نزدیک شود.

البته گالیله به نوعی بحث مقاومت هوا را می‌فهمید. به خاطر همین ادعایش این بود که اگر دو جسم، شکل ظاهری یکسان داشته باشند و وزن آنها متفاوت باشد، دقیقاً هم‌زمان به زمین خواهند رسید.

با مروری مختصر بر شواهد تاریخی به نظر می‌رسد که گالیله برای اثبات **قانون گرانش خود**، چیزی را از بالای برج پیزا به پایین پرتاب نکرده است^{۸۳}. شیوه‌ای که گالیله مورد استفاده قرار داد را می‌توان یکی از نخستین نمونه‌های **تجربه‌های ذهنی**^{۸۴} در دوران مدرن در نظر گرفت.

گالیله چنین آزمایشی را تصور کرد:

فرض کنید دو جسم از جنس مشابه و با وزن متفاوت را با ریسمان کوتاهی به یکدیگر متصل کنیم و آنها را از ارتفاع مشخصی رها کنیم.

بر اساس **قانون گرانش ارسطویی**، باید جسم سنگین‌تر سریع‌تر و جسم سبک‌تر کندتر سقوط کند. پس بعد از مدت کوتاهی نخ به صورت کاملاً کشیده قرار می‌گیرد و جسم سبک‌تر، حرکت جسم سنگین‌تر را کند می‌کند.

بر این اساس می‌توانیم بگوییم که سرعت سقوط این مجموعه از سرعت سقوط جسم سنگین‌تر کمتر خواهد بود.

^{۸۳} معدود مورخانی هم که معتقدند چنین رویدادی واقعاً روی داده است، این نکته را می‌پذیرند که این تجربه، صرفاً جنبه‌ی نمایش برای دانشجویان را داشته و گالیله استدلال خود را بر منطقی دیگر بنا نهاده است.

^{۸۴} Thought Experiment

اما باز هم بر اساس قانون گرانش ارسطویی، وقتی دو جسم را به یکدیگر متصل می‌کنیم، جسم سنگین‌تری ایجاد می‌شود که وزن آن از هر دو جسم قبلی بیشتر است. پس باید سرعت سقوط آن حتی از سرعت سقوط جسم سنگین هم بیشتر باشد. گالیله می‌دید که قانون گرانش ارسطویی به دو نتیجه‌ی متعارض و متضاد منجر می‌شود و بر این اساس، نمی‌تواند درست باشد. تنها حالت قابل تصور این بود که اجسام، مستقل از وزن‌شان با سرعت و شتاب یکسان سقوط کنند.

گالیله برای سنجش عملی ایده‌اش، به سراغ برج پیزا نرفت. بلکه از روش‌های تجربی ساده‌تر و قابل اتکاتر استفاده کرد.^{۸۵} او در آزمایشگاه، از سطح شیب‌دار برای انجام آزمایش‌های سقوط آزاد استفاده می‌کرد.

گالیله گلوله‌های مختلف را بر روی سطح شیب‌دار قرار می‌داد و سرعت سقوط آنها را با یکدیگر مقایسه می‌کرد. چون معتقد بود که پایین غلتیدن از سطح شیب‌دار از لحاظ ماهیت تفاوتی با سقوط آزاد ندارد و با این کار صرفاً سرعت و شتاب کمتری به وجود می‌آید و اندازه‌گیری زمان رسیدن به زمین ساده‌تر می‌شود.

نگاه ارسطو به حرکت هم بخش دیگری از مکانیک ارسطویی بود که گالیله با آن مشکل داشت. تعریف ارسطو از حرکت، تعریفی بسیار پیچیده است. او حرکت را بالفعل شدن یک توانایی بالقوه تعریف می‌کند.^{۸۶} به آن توانایی بالقوه انرژی^{۸۷} می‌گوید. لغت انرژی^{۸۸} هم در ادبیات معاصر ارسطو به معنای مشغول به کار بوده است و انرژی را می‌شد آماده به کار معنا کرد. لغت انرژی که امروز در بسیاری از زبان‌های دنیا به کار می‌رود، در واقع واژه‌ای است که توسط ارسطو اختراع شده و برای نخستین بار در کتاب فیزیک او به کار رفته است.

ارسطو حرکت جسم متحرک را با واژه‌ی انتلیکیا^{۸۹} توصیف می‌کرد و این‌گونه توضیح می‌داد که جسمی که حرکت می‌کند حرکت بالقوه‌ی خود را به حرکت بالفعل تبدیل کرده است.

تا اینجا حرف‌های ارسطو زیبا و هیجان‌انگیز به نظر می‌رسند. قاعده‌تاً حتی آشنایی مقدماتی با فیزیک و مکانیک هم باعث می‌شود حرف‌های او ما را به یاد بحث‌های انرژی جنبشی و پتانسیل بیندازد و از اینکه کسی بیست و چهار قرن قبل، به چنین مباحثی فکر می‌کرده و چنین توصیف و تشریحی برای حرکت مطرح می‌کرده شگفت‌زده شویم.

^{۸۵} کافی است به این نکته توجه داشته باشیم که مدت زمان سقوط آزاد یک جسم از بالای برج پیزا بر روی زمین (بدون لحاظ کردن مقاومت هوا) حدود ۳ ثانیه است. بنابراین، مقایسه‌ی سرعت سقوط از برج پیزا در آن زمان که ابزارهای اندازه‌گیری دقیق زمان وجود نداشته عملاً کاری غیر ممکن (یا لاف‌زنی غیردقیق) بوده است.

^{۸۶} A., Waterfield, R., & Bostock, D. (2008). Physics. Oxford: Oxford University Press.

^{۸۷} Energeia

^{۸۸} Energon

^{۸۹} Entelecheia

اما اگر بخواهیم تصویر مکانیک ارسطویی را در ذهن گالیله و اثر مکانیک ارسطویی را بر پارادایم فکری حاکم بر قرون وسطی بهتر درک کنیم، بهتر است مروری به کارهای توماس آکویناس^{۹۰} بیندازیم.

اگر چه در این حوزه متخصص نیستیم و اطلاعات عمیقی ندارم، اما در حدی که فرصت مطالعه‌ی ترجمه‌های انگلیسی آثار آکویناس برایم ایجاد شده به این نتیجه رسیده‌ام که روح علم در قرون وسطی را نمی‌توان بدون هم‌نشینی و هم‌کلامی با آکویناس لمس و درک کرد^{۹۱}.

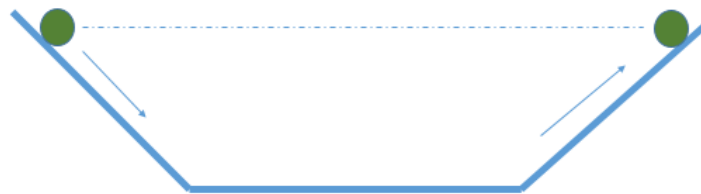
با مطالعه‌ی آثار توماس آکویناس می‌توانیم اهمیت و جایگاه ارسطو را در جهان‌بینی کلیسا بهتر و بیشتر درک کنیم. آکویناس به ارسطو احترام می‌گذارد. البته احترامی که به ارسطو می‌گذارد به هیچ‌وجه با احترام شگفت‌انگیزی که ابن‌سینا برای ارسطو قائل است قابل مقایسه نیست. با این حال، بارها از او با نام و صفت فیلسوف یاد می‌کند و نظریات او را به دیده‌ی نظرات کارشناسی مورد نقل و استناد قرار می‌دهد.

آکویناس اگر چه معتقد است که تعریف ارسطو از حرکت، واضح و شفاف نیست و می‌تواند حاوی تناقض‌هایی باشد، اما تاکید می‌کند که این تنها شیوه‌ای است که می‌توان حرکت را تعریف کرد و شیوه‌ی دیگری قابل تصور نیست.

وجود انرژی درونی و تبدیل شدن تدریجی آن به حرکت را - در نگاه ارسطویی - می‌توان به عنوان شکوفا شدن و ظهور داشته‌های درونی تعبیر کرد^{۹۲}.

فراموش نکنیم که در آن زمان، حرکت و چرخش دائمی ماه و خورشید و ستارگان و پیدا کردن توضیحی برای حرکت آنها، مسئله‌ی مهمی بود و نگرش ارسطویی که نوعی روح را حاکم بر این حرکت‌ها می‌دانست با نگرش کلیسا که می‌خواست حضور دائمی ماوراء الطبیعت در طبیعت را مورد تاکید قرار دهد، همسو و هم‌راستا بود.

حالا با تصور کردن آن فضا، به این آزمایش گالیله توجه کنید:



^{۹۰} Thomas Aquinas

^{۹۱} آکویناس از مشاهیر بزرگ دوران اسکولاستیک محسوب می‌شود. دورانی که نظریه‌های علمی تنها در صورتی مورد تایید بودند که با نظریات کلیسا در تضاد و تعارض نباشند و ترجیحاً نه تنها تضادی با نظریات نداشته باشند، بلکه تلویحاً یا تصریحاً نظریات کلیسا را تایید و تقویت کنند. آکویناس به علم (با این تعریف که گفتیم) دل‌بستگی داشت و می‌توان او را از بزرگترین و اثرگذارترین مشاهیر الهیات طبیعی در کل تاریخ دانست. الهیات طبیعی در نگاه آکویناس، به معنای پذیرش همسو بودن الهیات و علوم طبیعی بوده است. اما امروز با مرور کارهای آکویناس می‌توانیم بگوییم عملاً الهیاتی بوده است که می‌کوشیده قوانین طبیعی را به عنوان پشتوانه‌ی دفاع از جهان‌بینی خود به خدمت بگیرد.

^{۹۲} در ترجمه‌های انگلیسی کارهای ارسطو هم، Entelecheia را به Actualization ترجمه می‌کنند.

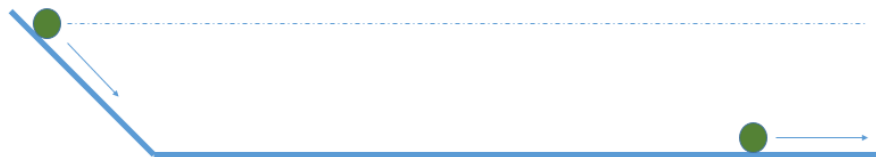
گالیله می‌دید وقتی گلوله‌ای را از بالای سطح شیب‌دار رها می‌کند و آن گلوله شتاب می‌گیرد و به سطح افقی می‌رسد، دوباره تا همان ارتفاع بالا می‌رود (او اصطکاک‌ها را کم می‌کرد و گوشه‌ها را هم بر خلاف آنچه من ترسیم کرده‌ام تیز نمی‌ساخت).

گالیله با تغییر دادن شیب به نتیجه‌ی جالبی رسید:



با تغییر دادن شیب، گلوله فاصله‌ی بیشتری را طی می‌کرد، چون می‌خواست باز به همان ارتفاع اولیه – که از آن رها شده بود – برسد.

گالیله با همین منطق به نتیجه رسید که اگر سطح شیب‌دار دوم را افقی بسازد و اصطکاک وجود نداشته باشد، حرکت گلوله هرگز متوقف نخواهد شد. چون گلوله می‌خواهد آن‌قدر برود تا به ارتفاع اولیه برسد و اگر تا بی‌نهایت هم برود به آن ارتفاع نخواهد رسید.



احتمالاً تا اینجا، آنچه را می‌خواهم بگویم در ذهن شما هم نقش بسته است.

اول اینکه گالیله، عملاً قبل از نیوتون به بحث اینرسی توجه داشته و قانون اول نیوتون، در واقع بر پایه‌ی تجربیات گالیله شکل گرفته و صرفاً آن را در قالبی دقیق‌تر و ظریف‌تر بیان می‌کند.

دوم هم اینکه کلیسا نمی‌توانست گالیله را دوست داشته باشد. جهان گالیله بیش از حد مکانیکی بود. در جهان گالیله، اجرام آسمانی می‌توانستند روزی حرکت را آغاز کرده باشند و اکنون، بدون دخالت غیرفیزیکی در حال ادامه دادن حرکت خود باشند.

بنابراین، نخستین تضاد جدی گالیله و کلیسا، قبل از اینکه به بحث زمین‌مرکزی یا خورشیدمرکزی بازگردد، به خاطر مکانیک گالیله‌ای و گرانش گالیله‌ای شکل گرفت.

بعد از این مقدمات، می‌توانیم به سراغ قسمت مشهور داستان گالیله برویم. گالیله، نگاه خورشیدمرکز^{۹۳} کوپرنیک را به عنوان یک واقعیت قطعی قبول داشت.

^{۹۳} Heliocentric

مهم است به خاطر داشته باشیم بر خلاف تصور امروزی عامه‌ی مردم، کلیسا (تا سال ۱۶۱۶) مشکل جدی با تئوری کوپرنیک نداشت. صرفاً اصرار داشت که تئوری کوپرنیک باید به عنوان یکی از انواع مدل‌های توصیف نجومی و نه به عنوان تنها مدل قابل اتکا مورد بحث و توجه قرار بگیرد.^{۹۴} طبیعتاً وقتی مدل کوپرنیک را به عنوان یکی از مدل‌ها می‌پذیریم، یکی دیگر از مدل‌ها، مدل پیشنهادی کلیسا خواهد بود.^{۹۵}

به همین علت است که می‌بینیم در ۱۶۱۰ که گالیله در کتاب خود، به کشف چهار قمر مشتری اشاره می‌کند، هنوز مخالفت خیلی جدی با او آغاز نمی‌شود. در حالی که به هر حال چهار قمر کشف شده بودند که به دور چیزی غیر از زمین می‌چرخیدند.

حدود دو سال گذشت تا کم کم منتقدان احساس کردند، بحث گالیله فراتر از یک نظریه است و او دیدگاهش را در حد یک واقعیت علمی قطعی می‌داند.

موج مخالفت با گالیله حدود دو سال بعد در ۱۶۱۲ راه افتاد. گالیله از مخالفانش می‌خواست که به آزمایشگاه او بیایند و به کمک تلسکوپ، قمرهای مشتری را ببینند.

عده‌ی زیادی از منتقدان او، معتقد بودند که نادرست بودن این بحث چنان واضح است که حتی به قدم رنجه کردن و چسباندن چشم به عدسی تلسکوپ نمی‌ارزد.

عده‌ی دیگری هم که حاضر شدند داخل تلسکوپ را تماشا کنند، ترجیح دادند آن را صرفاً اعوجاجات نوری شیطانی بدانند. البته افراد واقع‌گراتری هم بودند که به جای شیطان، گالیله را به ترسیم چند نقطه روی لنز تلسکوپ متهم می‌کردند.^{۹۶}

وقتی از مخالفت کلیسا با گالیله حرف می‌زنیم، باید به تعدد فرقه‌های مسیحی هم توجه کنیم. در آن زمان دو فرقه‌ی مهم قدرت سیاسی و مذهبی را در اختیار داشتند. فرقه‌ای که قدرتمندتر بود و آنها را یسوعیان^{۹۷} می‌نامند و فرقه‌ی دیگری که دومینیک^{۹۸} بودند و تفکر سنتی‌تری داشتند.

^{۹۴} این نوع مواجهه‌ی کلیسا با کوپرنیک را بعداً در مواجهه‌ی کلیسا با داروین هم دیدیم. در کل، مروری بر تاریخ کلیسا - لااقل از نگاه من - یک روند رفتاری جالب را در این «نهاد» نشان می‌دهد. کلیسا تا وقتی احساس کند که علم به جایی نرسیده، می‌گوید من «حقیقت» را می‌دانم. وقتی علم به جایی رسید و کلیسا هنوز قدرت داشت می‌گوید: «علم بپذیرد که آنچه می‌گوید یک مدل است. ما هم البته یک مدل داریم».

وقتی دیگر به هیچ شکل نمی‌توان علم را انکار کرد می‌گوید: «بیایید به عقاید یکدیگر احترام بگذاریم».

^{۹۵} نکته‌ی دیگری هم وجود دارد که معمولاً در روایت‌های عمومی از داستان گالیله مغفول می‌ماند. گالیله هم مخالفتی با مذهب نداشته است و اتفاقاً نگرشی مذهبی داشته است. اما اختلاف نظرش با کلیسا بر سر این بود که نباید تک تک واژه‌های کتاب مقدس را دقیقاً بر اساس معنای ظاهری آنها تفسیر کنیم. چون در این صورت گرفتار تضادها و تعارض‌های بسیاری خواهیم شد. منطقی است که آنها را به صورت بحث‌هایی استعاری در نظر بگیریم. نامه‌ای که گالیله به کریستین دو لورن در سال ۱۶۱۵ نوشته، نامه‌ای بسیار خواندنی در این زمینه است. اما چون از بحث من خارج است، مطالعه‌ی این نامه‌ی زیبا و ارزشمند را به خواننده واگذار می‌کنم.

^{۹۶} Finocchiaro, M. A., Galilei, G., & Galilei, G. (1991). *The Galileo affair: a documentary history*. New York: Leslie B. Adams, Jr.

^{۹۷} Jesuits

^{۹۸} Dominican

بررسی تفاوت این دو فرقه و اندیشه‌ها و تاریخشان خارج از حوزه‌ی بحث ماست. اما آنچه مهم است این است که یسوعیان، علاوه بر تسلط مذهبی، بر حوزه‌های علمی هم تسلط داشتند.

آنها در ابتدا (سالهای ۱۶۱۳) با گالیله چندان موافق نبودند. اما وقتی خودشان تلسکوپ‌های جدیدتر و بهتری تهیه کردند و قمرهای مشتری را - که گالیله کشف کرده بود - دیدند، حرف او را انکار نکردند.

تنها بحثی که داشتند این بود که مدل خورشیدمرکز می‌تواند یک مدل باشد. اما تمام شواهد و تجربیات ما این است که زمین ثابت است و خورشید مرکزی با شهود و تجربه سازگار نیست. حتی اینکه جایی در آسمان قمرهایی دور چیزی دیگر می‌چرخند نمی‌تواند اثباتی بر این باشد که زمین حرکت می‌کند.

آنها به گالیله گفتند که مدل خورشیدمرکز مدل ارزشمندی برای محاسبات نجومی است و می‌توان از آن به عنوان یک ابزار استفاده کرد. اما برای اینکه معتقد باشیم این مدل فراتر از ابزار است و در مورد واقعیات دنیای بیرونی حرف می‌زند، باید شواهد علمی و تجربی بیشتری داشته باشیم.

یسوعیان که روش علمی را به خوبی می‌شناختند و به کار می‌بردند، از گالیله انتظار داشتند که در مقام دانشمند، از روش علمی قابل اتکا برای اثبات حرف خود استفاده کند.

گالیله در اینجا استدلال مهم و نادرستی را مطرح می‌کند: او به جزر و مد دریا اشاره می‌کند و می‌گوید که جزر و مد، به خاطر حرکت زمین ایجاد می‌شوند. یک لیوان آب را هم وقتی با شتاب حرکت می‌دهید در آن تغییر ارتفاع ایجاد می‌شود. امروز می‌دانیم که استدلال گالیله کاملاً غلط بوده است و جزر و مد به خاطر گرانش ماه (و نه چرخش زمین) ایجاد می‌شود.

در سال ۱۶۱۶، ماجرا جدی‌تر شد. سازمان تفتیش عقاید یا انگیزاسیون^{۹۹} رسماً دستور داد که هیچ جا عقاید کوپرنیک تدریس نشود. این حکم صرفاً در مورد گالیله اعمال نمی‌شد، اما طبیعتاً گالیله هم مشمول این حکم بود و شاید بتوان گفت بزرگترین معلمی بود که باید به خاطر این حکم، سرفصل‌های آموزشی‌اش را تغییر می‌داد.^{۱۰۰}

گالیله سرنوشت ژوردانو برونو را به خوبی به خاطر داشت. چون فقط شانزده سال از بریان شدن دو شبانه‌روزی او در میانه‌ی شهر می‌گذشت. به همین علت، بلافاصله دستور را اطاعت کرد و تدریس نظریه‌ی کوپرنیک را کنار گذاشت.

اما در اینجا نباید بخش‌های مهمی از تاریخ را به دست فراموشی بسپاریم.

گالیله در سال ۱۶۱۶ سفری به رم داشت و اتفاقاً در آن سفر به خوبی و با مهربانی از او پذیرایی شد. او در رم علاقمندان زیادی داشت. کاردینال روبرت بلامین^{۱۰۱} که اتفاقاً جزو هیأتی بود که دستور سوزاندن برونو را صادر کردند، با گالیله با مهربانی صحبت کرد. آنها قبلاً هم چند بار با هم قدم زده بودند و گپ‌های دوستانه‌ای داشتند.

^{۹۹} Inquisition

^{۱۰۰} انگیزاسیون، سازمانی وابسته به کلیسا بود که به شکنجه‌های مخوف به خاطر عقاید انسان‌ها، شهرت داشت. قدرت این سازمان بیش از هر جای دیگری در شمال ایتالیا و جنوب فرانسه احساس و تجربه می‌شد.

^{۱۰۱} Robert Bellarmine

کاردینال که یک یسوعی مطلع و وفادار به روش‌های علمی بود به او توضیح داد که تو برای نظریه‌ات شواهد علمی نداری. تا زمانی که در مورد آن شواهد علمی نداری، آن را تدریس نکن و خودت هم نظریه‌ی خورشیدمرکز را بیشتر از یک نظریه و ابزار محاسباتی جدی نگیر.

برای اینکه مطمئن شوید آن زمان موضع کلیسا در مورد گالیله چندان منفی نبوده کافی است به نامه‌ای که روبرت بلامین برای گالیله نوشته است مراجعه کنید.

گالیله شنید که دومینیک‌ها می‌گویند گالیله به رم رفته و توبه کرده است و پذیرفته که نظریاتش اشتباه است. او با کاردینال روبرت بلامین (فراموش نکنید که او برونو را سوزانده بود) صحبت کرد و گفت: شایعه شده که من توبه کرده‌ام و گفته‌ام اشتباه کرده‌ام. در حالی که شما فقط گفتید جایی درس ندهم. آیا می‌توانید نامه‌ای بنویسید و تایید کنید که من را وادار به توبه نکرده‌اید؟

این نامه در ششم ماه می سال ۱۶۱۶ توسط شخص بلامین نوشته شد^{۱۰۲}. بلامین توضیح داد که نه ما نه هیچ فرد دیگری در رم آزاری به گالیله نرسانده و از او هم نخواستیم تقاضای توبه و بخشایش کند. صرفاً به او توضیح داده‌ایم که دکترین کوپرنیک در مورد زمین و خورشید با متون مقدس در تضاد است و قابل دفاع نیست. ما این نامه را به عنوان گواهی نوشته‌ایم و به او می‌دهیم.

اما گالیله همزمان کار روی کتابش را که در زمینه‌ی نظریه‌ی کوپرنیک بود آغاز کرد. آن زمان محدودیت تدریس بیشتر از محدودیت تالیف بود و گالیله معتقد بود که می‌تواند به این شیوه، به تثبیت نظریه‌ی کوپرنیک کمک کند.

او کتابش را در قالب یک گفتگو نوشت و نام این کتاب را **گفتگو درباره دو سیستم اصلی نگاه به جهان**^{۱۰۳} نامید. در این کتاب، نظریه‌ی کوپرنیک صرفاً به عنوان یک فرضیه مطرح می‌شد و موافقان و مخالفان در موردش صحبت می‌کردند.

او در سال ۱۶۳۰ از اداره‌ی سانسور حکومت رم، مجوز چاپ کتابش را دریافت کرد^{۱۰۴}.

در آن زمان، پاپ اربن هشتم^{۱۰۵} در راس کار بود. او یسوعی بود و با گالیله هم دوست بود. حتی اگر کمی دقیق‌تر بررسی کنیم، می‌بینیم که او گالیله را به انتشار کتابش تشویق هم کرده است. تنها چیزی که پاپ از او خواست این بود که جایی در کتابش این جمله را هم بگنجانند که خداوند، جهان را به شکلی آفریده است که ممکن است برای یک پدیده‌ی واحد، علت‌های متعددی قابل تصور باشد^{۱۰۶}.

^{۱۰۲} متن نامه را به سادگی با جستجو در اینترنت می‌توانید بیابید.

^{۱۰۳} Galilei, G., Drake, S., Einstein, A., & Sobel, D. (2013). *Dialogue concerning the two chief world systems: Ptolemaic and Copernican*. London: The Folio Society.

^{۱۰۴} سانسور در آن زمان یک مقام رسمی محسوب می‌شده است. این واژه از Census به معنای آمار گرفته شده و در واقع اداره‌ای که متولی آمار بوده، متولی نظارت بر کتاب و صدور مجوز نشر کتاب هم بوده است. اگر چه واژه‌ی سانسور که ما امروز به کار می‌بریم دقیقاً از همین سمت در رم باستان گرفته شده است، اما فراموش نکنیم که آن زمان این واژه تا این حد دارای بار معنایی منفی نبوده است. درست همان‌طور که امروز می‌گوییم بروم مجوز فلان کار را بگیرم و برگردم، آن روزگار می‌گفته‌اند: یک سر به اداره‌ی سانسور بزنم و بیایم.

^{۱۰۵} Pope Urban VIII

^{۱۰۶} جزر و مد، ممکن است به علت اراده‌ی خداوند باشد یا به علت گردش زمین یا هر دو.

گالیله اگر چه در چاپ کتابش این بخت را داشت که حتی از حمایت پاپ هم بهره‌مند شود، اما ظاهراً طبیعت با او چندان یار نبود. طاعون در همان سال در رم شایع شد و گالیله نتوانست کتابش را در رم منتشر کند. این بود که پس از مدتی انتظار، کتاب را در سال ۱۶۳۲ در فلورانس منتشر کرد (بدون اینکه مجوزی برای انتشار آن در فلورانس داشته باشد).

کتاب گفتگو، روایتی از گفتگوی سه نفر است که طی چهار روز در سفر در اطراف ایتالیا با هم همراه هستند. دو نفر از آنها متخصص‌تر هستند و یک نفر، فردی عامی محسوب می‌شود. این را از نام‌گذاری‌های آنها هم می‌شود فهمید.

فرد عامی، سیمپلیچیو^{۱۰۷} نام دارد و از ارسطو و بطلمیوس دفاع می‌کند. شخصیت دیگر که کمی بی‌طرف به نظر می‌رسد، ساگردو^{۱۰۸} نام دارد و شخصیت سوم - که به گالیله نزدیک‌تر است و از کوپرنیک دفاع می‌کند - سالویاتی^{۱۰۹} نام گرفته است.

در کل کتاب، ساگردو را فردی هوشمند و زیرک می‌بینیم که به تدریج از موضع بی‌طرفانه‌ی خود، به سمت موضوع کوپرنیکی (که توسط سالویاتی ارائه می‌شود) میل پیدا می‌کند.

گالیله به قیدی که پاپ برای او گذاشته بود وفادار ماند و آن جمله را در کتابش گنجاند. اما ترجیح داد جمله را در دهان سیمپلیچیو بگذارد.

ماجرای به همین‌جا تمام نشد. گالیله تا آخرین خط از آخرین صفحه‌ی کتاب صبر کرد تا مطمئن شود که خواننده متوجه می‌شود که سیمپلیچیو، با عقاید گالیله همسو نیست. سپس آن جمله را از قول او نقل کرد.

اما باز هم طاقت نیاورد و پایان گفتگو را به سالویاتی (خودش) سپرد. سالویاتی پس از شنیدن نحوه‌ی فکر کردن و استدلال کردن سیمپلیچیو می‌گوید: آفرین. تو چقدر معصومانه فکر می‌کنی.

می‌توانید حال پاپ را هنگام خواندن کتاب تصور کنید. او تمام حمایت خود را به خرج داده بود تا گالیله بتواند حرف‌هایش را مطرح کند. اما گالیله به شکلی برخورد کرده بود که پاپ، خود را فریب‌خورده حس می‌کرد.

فقط کافی است به خاطر داشته باشید که جنبش پروتستانسزم هم آن زمان قوت گرفته بود و حساسیت بر روی این نوع نوشته‌ها زیاد بود. دادگاه تفتیش عقاید هم که ریشه در اسپانیا و شمال ایتالیا داشت، پاپ رم را به تساهل بیش از حد با نظریه‌های مخالف متهم می‌کرد.

البته در مورد گالیله، بحث فقط تساهل نبود. بلکه معتقد بودند که گالیله با تشویق و حمایت مستقیم پاپ، کتابش را چاپ کرده است. پاپ در اینجا هم از طرف گالیله به تمسخر گرفته شده بود و هم هم‌کیشانش از او دلگیر بودند.

^{۱۰۷} نام Simple از Simple به معنای ساده گرفته شده و نوعی ساده‌لوحی را در خود دارد. شاید با این نام‌گذاری ولتر را به خاطر بیاورید که نام شخصیت ساده‌لوح داستانش را کاندید (به همین معنای ساده‌دل) گذاشته است.

^{۱۰۸} Sagerdo

^{۱۰۹} Salviati

کلیسای کاتولیک، احساس کرد که تبلیغ نظریه‌ی کوپرنیک و پذیرفتن حرکت زمین از طریق این کتاب، می‌تواند بسیار خطرناک باشد. آنها حتی اعلام کردند که خطر گالیله از خطر مارتین لوتر (چهره‌ی مشهور پروتستان) هم بیشتر است.^{۱۱۰}

همه‌ی این ماجراها به تشکیل دادگاه برای گالیله منجر شد و باقی ماجراهایی که به خوبی از آنها مطلع هستید. او تحت شکنجه‌ی درجه‌ی دو قرار گرفت.^{۱۱۱} بعد از چهار بار بازجویی، توبه کرد و صرفاً به زندانی شدن در خانه (در ۱۶۳۴) محکوم شد. البته حق تالیف و تدریس از او گرفته نشد. فقط نمی‌توانست از محدوده‌ای که در آن محصور بود بیرون بیاید. گالیله در ۱۶۳۸ نابینا شد و در ۱۶۴۲ فوت کرد.^{۱۱۲}

بد نیست بعد از مرور این داستان، به ماجرای خودمان بازگردیم.

فرانسیس بیکن و گالیله تا پایان بحث پیچیدگی در کنار ما خواهند بود و به ما در درک بهتر این مبحث کمک خواهند کرد. اما در اینجا نکته‌ای کلیدی هست که باید به خاطر بسپاریم:

اگر از دادگاه نهایی گالیله – که بیشتر دادگاهی سیاسی و نوعی انتقام از رفتار او در کتابش محسوب می‌شد – بگذریم، تا قبل از دادگاه، آنچه در گفتگو میان گالیله و کلیسا می‌بینیم، درس بزرگی در خود پنهان دارد.

گالیله حرف درستی می‌زد (چرخش زمین به دور خورشید)، اما روش استدلالی او کاملاً نادرست بود (استفاده از جزر و مد برای اثبات حرکت زمین).

کلیسا منطق درستی داشت و می‌گفت که تا شواهدی دقیق در تایید یک نظریه نیست، نباید آن را بیشتر از یک نظریه دانست، اما حاصل این نگرش نتیجه‌ای نادرست بود (سکون زمین).

روی کاغذ و در تئوری، روش درست همیشه به نتیجه‌ی درست می‌رسد و روش نادرست به نتیجه‌ی نادرست منتهی می‌شود.

^{۱۱۰} Biagioli, M. (2006). *Galileo, courtier: practice of science in the culture of absolutism*. Chicago: Univ. of Chicago Press.

^{۱۱۱} شکنجه‌ی درجه‌ی یک، تهدید به شکنجه است. شکنجه‌ی درجه‌ی دو، بردن فرد به محل شکنجه و نشان دادن ابزارهای شکنجه و شکنجه‌ی درجه سه، اعمال واقعی شکنجه است.

^{۱۱۲} درگذشت گالیله، اتفاق مهمی در تاریخ علم محسوب می‌شود. چون بسیاری از دانشمندان دیگر، پس از مشاهده‌ی روندی که از برونو به گالیله ختم می‌شد، تصمیم گرفتند به شمال اروپا (که قدرت پروتستان‌ها در آنجا بیشتر بود) مهاجرت کنند.

البته نباید فکر کنید که پروتستان‌ها حامی روش علمی بودند. اما آنها در مقایسه با جنوب اروپا، قدرت کمتری در ساختار حکومتی داشتند. حاصل آن رویدادها و اتفاق‌ها (که برونو و گالیله تنها نمونه‌هایی از آن هستند) باعث شد که امروز هم اگر خطی افقی در میانه‌ی نقشه‌ی اروپا بکشید، وضعیت شمال و جنوب آن تفاوت‌هایی بزرگ و محسوس دارد.

حتماً می‌دانید که در سال ۱۸۳۵ کلیسا کتاب‌های گالیله را از فهرست کتاب‌های ممنوعه خارج کرد و در سال ۲۰۰۰، پاپ ژان پل دوم به خاطر رفتارهای نامطلوبی که برخی از مسیحیان در دوهزارسال گذشته داشته‌اند عذرخواهی کرد. یکی از شاخص‌ترین نکات مورد اشاره در عذرخواهی پاپ، محاکمه‌ی گالیله بود.

اما در دنیای واقعی می‌دانیم که ازدواج بین روش و نتیجه توسط انسان انجام می‌شود و حاصل آن می‌شود که گاه، درست و نادرست بودن نتیجه از درست و نادرست بودن روش جدا می‌شود.

مسیر علم را مغزهایی می‌سازند و هموار می‌کنند که بیکن و گالیله، همزمان دوست و مهمانشان باشند.

از بیکن، حساسیت به روش را بیاموزند و برای بهبود روش‌ها تلاش کنند و از گالیله، بیاموزند که وقتی شواهدی در نقص روش می‌بینند، شجاعت شکستن چارچوب‌ها را داشته باشند. به هر حال دیر یا زود، از بین جهان‌بینی و ابزار، یکی که عقب‌مانده است، خود را به دیگری می‌رساند و انسان، یک گام در مسیر درک هستی به پیش می‌رود.

هیچ چیز را نمی‌بینید. مگر آنکه استعاره‌ی مناسب برای درک آن را بیابید.

جمیز گلیک، کتاب آشوب

استخوان‌های غلتان

سوفوکل، شاعر یونانی در قرن پنجم قبل از میلاد، مدعی است که تاس توسط یونانیان در نبرد تروا اختراع شده است. به هر حال، کم نیستند نویسندگان و تحلیل‌گران و مورخانی که هر چه در تاریخ عقب می‌روند، نشانه‌های برتری و نوآوری را جز در میان نیاکان خود نمی‌یابند.

سوفوکل، وقتی از بخت شیرین زئوس می‌گوید، چنین روایت می‌کند که: زئوس، هر جور که تاس بریزد، برایش خوب می‌آید.

هرودوت، که تاریخ‌نویس کم‌تعصب‌تری است و افق جغرافیایی گسترده‌تری را مد نظر قرار می‌دهد، معتقد است که تاس چند قرن قبل از آن تاریخ، توسط لیدیایی‌ها اختراع شده است.^{۱۱۳}

امروز می‌دانیم که مصریان باستان، دوهزار سال قبل از میلاد مسیح، در کنار انواع زیورآلاتی که در گور مردگان خود دفن می‌کردند، تاس‌هایی را هم قرار می‌داده‌اند.^{۱۱۴}

اما ظاهراً هر چه عقب‌تر می‌رویم، باز هم می‌توانیم تاس را در زندگی انسان‌ها ببینیم. بر اساس کشفیاتی که تا امروز انجام شده است، حداقل ۶۰۰۰ سال است که انسان از تاس استفاده می‌کند. به عبارتی، انسان‌ها مدت‌ها قبل از اینکه اعداد را اختراع کنند، تاس را اختراع کرده‌اند.

^{۱۱۳} David, F. N. (1998). *Games, gods and gambling: a history of probability and statistical ideas*. Mineola, N.Y: Dover.

^{۱۱۴} کاپفر، وقتی از فلسفه لوکس‌گرایی صحبت می‌کند، معتقد است که لوکس بودن را بدون آشنایی عمیق با مصریان باستان نمی‌توان شناخت و درک کرد. آنها حتی وقتی شیشه را اختراع کردند، نخستین کاربردی که برای این محصول جدید به ذهن‌شان رسید، استفاده از آن برای نگهداری عطرهاشان بود. مصریان، به زندگی پس از مرگ اعتقاد داشتند. جسد بردگان در کنار اشراف و پادشاهان دفن می‌شد تا در جهان دیگر، از آنها مراقبت کند و پول و طلا و زیورآلات هم، برای این بود تا بتوانند در زندگی بعدی، آن‌ها را خرج کنند و جایی که در کارشان گره افتاد، بتوانند با استفاده از آنها، مسیر زندگی خود در جهان دیگر را هموار کنند.

البته جنس تاس و شکل تاس در طول زمان تغییر کرده است. تاس‌ها گاهی از سنگ، گاهی از چوب، گاهی از استخوان حیوانات و گاهی از عاج فیل و گاهی از فلز ساخته شده‌اند. همچنین شکل آنها همیشه شش وجهی نبوده است. در گذشته‌های دور تاس‌ها به شکل هرم و چهاروجهی بوده‌اند.^{۱۱۵}

به هر حال، داستان تاس‌ها و آدم‌ها^{۱۱۶} ظاهراً داستانی کهن است و ارتباط این دو، قدیمی‌تر از آن است که دانش باستان‌شناسی ما، بتواند تاریخ نخستین آشنایی آن دو را با دقت و اطمینان برآورد کند.

تاس‌ها در تمام طول تاریخ، در کنار انسان، ابهام و عدم قطعیت زندگی را به یاد او آورده و این واقعیت اجتناب‌ناپذیر را برای او شبیه‌سازی کرده‌اند.

انسان‌ها، با ریختن تاس، گاهی برده‌اند و گاهی باخته‌اند و این بازی کهن را نمادی از برد و باخت در زندگی و نتیجه‌ی غلتیدن تاس را خوش‌بختی و نگون‌بختی در رویدادهای واقعی عمر خود قلمداد کرده‌اند.

این چندوجهی پوچ تاریخ‌ساز

«به نظر شما منطقی است؟ به من می‌گویند ۲۴ بار تاس بریز. اگر یک بار جفت شش آمد، تو از ما پول بگیر و اگر نیامد، همان مبلغ را به ما بده. همه اینجا روی ۲۴ بازی می‌کنند و معتقدند که این بازی سودده است. اما من هر چه فکر می‌کنم، با این شرط، ممکن است پولم را از دست بدهم».

این سوال را در سال ۱۶۵۴، آنتوان گومبا^{۱۱۷} نجیب‌زاده‌ی فرانسوی از پاسکال پرسید^{۱۱۸}. امروز اگر یک کودک دبیرستانی پاسخ این سوال را نداند، احتمالاً در آزمون ورودی دانشگاه‌ها پذیرفته نخواهد شد. اما نباید فراموش کنیم که حدود چهار قرن قبل، پاسخ دادن به چنین پرسشی به هیچ وجه ساده نبوده است.

^{۱۱۵} Ferentzy, P., & Turner, N. E. (2013). *The History of Problem Gambling: Temperance, Substance Abuse, Medicine and Metaphors*. New York: Springer.

^{۱۱۶} اگر چه واضح است، اما شاید بد نباشد تأکید و اقرار کنم که عنوان این فصل، با الهام از عنوان داستان موش‌ها و آدم‌ها، اثر ماندگار جان اشتین بک انتخاب شده است.

^{۱۱۷} Antoine Gombaud

^{۱۱۸} Apostol, T. M. (2007). *Calculus*. New York: Wiley.

این تنها سوال آنتوان گومبا نبود. او به بازی بر سر شانس اعتقاد داشت و هر روز سوال‌های جدیدی برایش پیش می‌آمد. بلز پاسکال، در یک سلسله نامه‌نگاری با دوست خود فرما^{۱۱۹}، کوشید پاسخی برای این سوال و این نوع سوال‌ها بیابد. نامه‌نگاری‌های متعددی بین پاسکال و فرما انجام شد و محتوای آن نامه‌ها، امروز نخستین اثر جدی مکتوب در مورد احتمالات، «فرض» می‌شود.

البته عمداً از واژه‌ی فرض استفاده می‌کنم. چون ابویوسف کندی، در قرن چهارم هجری (نهم میلادی) و حدود هشت قرن قبل از پاسکال و فرما، درکی عمیق و شگفت از مفاهیمی مشابه داشته است^{۱۲۰}.

او یکی از قدیمی‌ترین رمزنگاران و رمزگشایان تاریخ است و چندان گراف نیست اگر او را آلن تورینگ عصر خود بدانیم. کندی، برای اینکه بتواند پیام‌های رمزگذاری شده را رمزگشایی کند، احتمال تکرار وقوع حروف و کلمات در نامه‌ها را محاسبه می‌کرد و با استفاده از این شیوه و شیوه‌هایی مشابه، کلید رمزگشایی از نامه‌ها را استخراج می‌کرد^{۱۲۱}.

^{۱۱۹} ما معمولاً پیر فرما (Pierre Fermat) را به علت دیگری به خاطر می‌آوریم. به خاطر آنچه به حدس فرما معروف است. فرما، مسئله‌ای را مطرح کرد که سیصد و پنجاه سال بعد اثبات شد. اما این مسئله را در حاشیه‌ی یک کتاب قدیمی یونانی در خانه‌اش نوشت (Arithmetica). فرما در آنجا توضیح داد که من می‌توانم این مسئله را اثبات کنم. اما چون حاشیه‌ی کتاب به اندازه‌ی کافی جا ندارد، فعلاً نمی‌توانم آن را اینجا بنویسم. هنوز گهگاه بحث می‌شود که آیا واقعاً فرما می‌توانسته آن حرف را اثبات کند یا نه. اما تقریباً همه پذیرفته‌اند که این صرفاً ادعایی زیرکانه بوده است. به همین علت آن را بیشتر به حدس فرما می‌شناسیم.

^{۱۲۰} Singh, S. (2009). *The code book: the science of secrecy from ancient Egypt to quantum cryptography*. Bridgewater, NJ: Distributed by Paw Prints / Baker & Taylor.

^{۱۲۱} ظاهراً این هم از ویژگی‌های تاریخ است که هر چیزی در آن چند بار کشف و اختراع می‌شود. چند بار، «صفر» را اختراع می‌کنیم. چند مرتبه آمار و احتمال را اختراع می‌کنیم. چند بار چرخش زمین را کشف می‌کنیم. چند بار محیط کره‌ی زمین را حساب می‌کنیم. چند بار شبکه‌های اجتماعی دیجیتال درست می‌کنیم. به هر حال، این را باید پذیرفت که اختراعات، اکتشافات، رویدادهای اجتماعی، سیاسی و فرهنگی، زاده‌ی هم‌بستری انسان‌ها و شرایط محیطی هستند. اگر چه شرایط محیطی را معمولاً به عنوان یک موجود، درک نمی‌کنیم و هم‌بستری انسان و محیط چندان برایمان قابل تصور نیست، اما در نگاه من، ازدواج انسان و شرایط محیطی، یکی از بهترین استعاره‌ها برای درک رویدادهاست. انقلاب‌ها، کشف‌ها، اختراع‌ها، حرکت‌های اجتماعی، جنگ‌ها و صلح‌ها، نه به تنهایی توسط یک یا چند فرد به وجود می‌آیند و نه صرفاً به جبر شرایط. انسان یا انسان‌هایی پیدا می‌شوند که با محیط، هم‌بستر می‌شوند و حاصل این هم‌بستری، آستن شدن جامعه از یک رویداد است. شاید چنین نگاهی باعث شود ما همزمان از «اصالت قائل شدن برای قهرمانان» و «اصالت قائل شدن برای بستر تاریخی» فاصله بگیریم و به خاطر داشته باشیم که این دو، یک زوج پدیده‌ی مستقل نیستند. بلکه یک واقعیت واحد هستند که ما آن را دو تکه کرده‌ایم و یکی را «فرد» و دیگری را «تاریخ» نامیده‌ایم.

هویگنس^{۱۲۲}، دانشمندی که معاصر فرما و پاسکال بود با مطالعه‌ی آن نامه‌ها، توانست ساختار بهتر و کامل‌تری به این بحث بدهد^{۱۲۳} و سه سال بعد از آن مکاتبات، کتابی را در مورد احتمالات منتشر کرد.

قمار و بازی بر سر شانس، در اروپای آن زمان بسیار رایج بود و به همین علت، کتاب هویگنس به صورت گسترده مورد استقبال قرار گرفت.

کتاب ژاکوب برنولی - که البته هشت سال پس از مرگش منتشر شد، گام بعدی در توسعه‌ی احتمالات بود^{۱۲۴}. می‌توان گفت در این مرحله، علم احتمالات رسماً متولد شده بود.

توضیحات برنولی در فصل دوم این کتاب، تا حد خوبی تعریف علم احتمالات را از دیدگاه او، مشخص می‌کند:

هنر اندازه‌گیری احتمال هر رویداد، با حداکثر دقت ممکن، با این هدف که بتوانیم در قضاوت‌ها و تصمیم‌گیری‌ها، گزینه‌ای را انتخاب کنیم که بهتر، رضایت‌بخش‌تر، دارای مزیت بیشتر و مطمئن‌تر باشد.

نکته‌ی بسیار مهم در مورد کار برنولی این است که او پیشنهاد کرد احتمال وقوع یک رویداد، با عددی بین صفر تا یک نمایش داده شود. صفر به این معنا باشد که آن رویداد، هرگز به وقوع نخواهد پیوست و به عبارتی وقوع یک رویداد، محال است.

یک هم به این معنا باشد که آن رویداد، اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

هر عددی بین صفر تا یک، نشان می‌دهد که یک رویداد، ممکن است پیش بیاید و ممکن هم هست پیش نیاید. با در نظر گرفتن پارادایم حاکم بر قرن هفدهم، نباید ارزش رواج یافتن این نگرش را دست‌کم بگیریم.

تا آن زمان، همه چیز یا بود یا نبود. یا روی میداد و یا روی نمی‌داد. اگر هم جز این بود، سایه‌ی ابهام بر سر یک رویداد می‌نشست. همان چیزی که راه خرافات را صاف و هموار می‌کرد.

^{۱۲۲} Christian Huygens

^{۱۲۳} Devlin, K. J. (2010). The unfinished game: Pascal, Fermat, and the seventeenth-century letter that made the world modern. New York (NY): Basic Books.

^{۱۲۴} The art of conjecture

مسیری که از ابویوسف کندی تا برنولی (و بعداً گاوس و لاپلاس و بولتزمن) طی شد، به علم این قدرت را داد که به دنیای عدم قطعیت هم، پا بگذارد. حالا علم، با همان استحکام همیشگی، می‌توانست در مورد رویدادهایی که قبلاً خارج از قلمرو او محسوب می‌شدند، نظر بدهد.

آمار، دانشی که مستقل از احتمالات رشد کرد

قبل از اینکه وارد بحث‌های تخصصی‌تر بشویم، لازم است که بین آمار به عنوان سرشماری و آمار به عنوان علم استخراج ویژگی‌های یک گروه یا جامعه یا مجموعه‌ای از نمونه‌ها، تفاوت و تمایز قائل شویم.

آمار در فارسی از آماریدن به معنای شماریدن و شمردن گرفته شده است. آماریدن واژه‌ای متعلق به فارسی میانه است. همان چیزی که در عربی به احصاء معروف است و سرشماری هم تقریباً همین معنا را می‌دهد.

امپراطوری ایران، از قدیمی‌ترین ممالک در آمارگیری محسوب می‌شده است. روبرت کاپلان در کتاب خواندنی خود در مورد تاریخ شکل‌گیری عدد صفر، تصویری از آمارگیران دوران داریوش را نشان می‌دهد^{۱۲۵}. آنها روی تخته‌های گلی، تعداد هدایایی را که از نقاط مختلف امپراطوری دریافت می‌کرده‌اند، به شکل یک گزارش آماری به داریوش ارائه می‌کردند^{۱۲۶}.

^{۱۲۵} Kaplan, R. (2000). *The nothing that is: a natural history of zero*. Oxford: Oxford University Press.

^{۱۲۶} کاپلان حدس می‌زند که دایره‌ی توخالی که ما به عنوان صفر به کار می‌بریم، از همین جا نشأت گرفته باشد. وقتی در مقابل نام یک حاکم فضای خالی وجود داشته، می‌توانسته به این معنا باشد که هنوز هدایای او سرشماری نشده‌اند. اما دایره‌ی توخالی یعنی اینکه چیزی وجود نداشت که سرشماری کنیم. البته تا جایی که من فهمیدم، کاپلان این را به عنوان حدس مطرح می‌کند. یا اگر منبعی برای این تحلیل دارد، در متن کتاب به آن اشاره نمی‌کند.

شکل‌گیری و توسعه دانش آمار مدرن، ظاهراً به قرن پانزدهم و شانزدهم میلادی در اروپا بازمی‌گردد^{۱۲۷}. مراجعه به نوشته‌ها و سبک تحلیل فرانسیس بیکن نشان می‌دهد که او علاقه‌ی زیادی داشته است که جامعه را نیز با ابزارهایی علمی مورد شناسایی و تحلیل قرار دهد^{۱۲۸}.

اگر علوم طبیعی مانند فیزیک و ریاضی را علمی سخت^{۱۲۹} و علوم انسانی را علمی نرم^{۱۳۰} در نظر بگیریم، به نظر می‌رسد که ترجیح فرانسیس بیکن این بوده است که علوم انسانی را هم در همان حد علوم طبیعی، به شکلی سخت و مستدل و مبتنی بر مطالعه و تجربه بنا کند. اصطلاح بدن طبیعی^{۱۳۱} و بدن سیاسی^{۱۳۲} که فرانسیس بیکن به کار می‌برد، از این نگرش ریشه می‌گیرد.

به عبارتی، فرانسیس بیکن در همان حد که بدن انسان را موضوع مطالعه‌ی علوم طبیعی می‌دید، بدنه‌ی سیاسی جامعه را هم قابل مطالعه و بررسی می‌دید و شاید اگر عمرش و ابزارهایش یاری می‌کردند، در این مسیر گام‌های بیشتری برمی‌داشت.

^{۱۲۷} مطالعه‌ی من در حدی نیست که بتوانم به صورت قطعی این حرف را مطرح کنم. عمده‌ی کتابهای غربی، ریشه‌ی علم آمار به شکل امروزی آن را در اروپا یافته‌اند. من هم به اندازه‌ی مطالعات محدودم، احساس می‌کنم که نوع دغدغه و نگرش و چالش‌هایی که در ریاضیات اسلامی وجود داشته، بسیار متفاوت بوده است. ریاضیاتی که مورد علاقه‌ی ما بود، بیشتر از جنس جبر و هندسه و مثلثات بوده و کسانی مثل خوارزمی و خیام و شرف‌الدین طوسی و ابومحمد خجندی و خواجه نصیرالدین طوسی، همگی بیشتر روی این سه حوزه متمرکز بوده‌اند. شاید بتوان علت این علاقه را در اهمیت نجوم نزد مسلمانان جستجو کرد. به هر حال، دستاوردهای ریاضی مردم خاورمیانه و هند در آن دوران کم نیست و بخش مهمی از میراث ریاضی جهان را تشکیل می‌دهد. اما در زمینه‌ی آمار تحلیلی، لاقلاً من نمونه‌ای پیدا نکردم. ریاضیات شرق دور را هم در حدی نمی‌شناسم که در قالب نفی یا اثبات یا حتی حدس، در مورد آن نظری بدهم.

^{۱۲۸} Bacon, F., Spedding, J., Ellis, R. L., & Heath, D. D. (2011). The works of Francis Bacon. Cambridge: Cambridge University Press.

^{۱۲۹} Hard Science

^{۱۳۰} Soft Science

^{۱۳۱} Natual Body

^{۱۳۲} Political Body

البته به نظر می‌رسد توماس هابز هم که کتاب لویاتان^{۱۳۳} را نوشت، در این زمینه از فرانسیس بیکن تأثیر پذیرفته است و می‌توان نوع قلم‌زنی او در این زمینه را ادامه‌ی نگرش فرانسیس بیکن دانست^{۱۳۴}.

اما اگر بخواهیم از آمار در علوم اجتماعی و تحلیل آماری به سبکی که امروز می‌شناسیم و حرف می‌زنیم سخن بگوییم، باید به سراغ جان گرانت در همان قرن هفدهم برویم.

لویاتان در دهه‌ی پنجم قرن هفدهم منتشر شده و کارهای جان گرانت^{۱۳۵} حدود یک دهه بعد، منتشر شده است. کارها و مطالعات او اگر چه امروز ساده به نظر می‌رسند اما در زمان خودش چنان کلیدی بودند که هنوز هم، علوم مختلف می‌کوشند گرانت را به نفع خودشان مصادره کنند.

جامعه‌شناسان او را در تاریخ جامعه‌شناسی و تحلیل‌های جمعیت‌شناسی مورد بررسی قرار می‌دهند. سیاستمداران و محققان علوم سیاسی، او را یک سیاست‌گذار و سیاست‌گر مدرن می‌دانند. ریاضیدانان او را نقطه‌ی شروع عصری جدید در علم آمار معرفی می‌کنند و الان هم، من به آرامی در تلاش هستم که برای او جایگاهی مناسب در تاریخ علم پیچیدگی دست و پا کنم.

کتاب کلیدی او، مشاهدات^{۱۳۶} نام داشت. البته نام کامل کتاب، مشاهداتی طبیعی و سیاسی بر اساس سندهای مرگ و میر بود^{۱۳۷}.

گرانت گزارش‌های مرگ و میر را که به صورت هفتگی در لندن ثبت و ضبط می‌شدند مورد بررسی قرار داد و سعی کرد از این گزارش‌ها، شاخص‌های متعددی را استخراج کند.

او نرخ مرگ و میر در رده‌های سنی مختلف، نرخ سرایت بیماری‌های واگیردار کشنده، نرخ زاد و ولد و امید زندگی نسل‌های مختلف در لندن را محاسبه و منتشر کرد. کتاب او در طی چند سال متوالی پنج بار ویرایش و به روز شد و اگر

^{۱۳۳} احتمالاً اگر به مطالعه‌ی یک کتاب کلاسیک در زمینه‌ی فلسفه سیاسی علاقمند باشید، این کتاب که با زحمت دکتر بشیریه به فارسی هم ترجمه شده گزینه‌ی خوبی است. لویاتان نامی است که از یکی از داستان‌های تورات گرفته شده و اشاره به غولی بزرگ و شگفت‌انگیز دارد. هابز، دولت را که از مردم برمی‌خیزد، یک غول بزرگ با ماهیتی متفاوت از مردم می‌داند که البته مردم برای تامین امنیت و کاهش نزاع بر سر منابع، باید گردن به اطاعت از این غول بگذارند. به نظر اشتباه نیست اگر بگوییم توماس هابز، یکی از نخستین آثار مستند و مستدل با منطق Emergence را نوشته است. چون دولت را با وجودی که از ملت برمی‌خیزد، یک گونه‌ی اجتماعی متفاوت می‌بیند و واقعاً بدن سیاسی این غول را درست مانند یک دانشمند علوم طبیعی، مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد.

^{۱۳۴} Bunce, R. E. R. (2003). Francis Bacon, Thomas Hobbes, philosophy, and history (doctoral thesis).

^{۱۳۵} John Graunt

^{۱۳۶} Observations

^{۱۳۷} Natural and Political Observations made upon the Bills of Mortality.

بخواهیم از ادبیات رایج امروزی استفاده کنیم، کتاب او یکی از نخستین تلاش‌های مکتوب در تبدیل داده‌ها^{۱۳۸} به اطلاعات^{۱۳۹} بوده است.

دلم می‌خواهد در اینجا با وجودی که ممکن است گرفتار دام ناهمزمانی^{۱۴۰} شویم، کمی توضیح دهم که چرا کتاب مشاهدات تا این حد مهم و تاریخ‌ساز محسوب می‌شود.

ارزش کار گرانت به این بود که کوشید به جامعه به عنوان یک هویت مستقل از افراد جامعه نگاه کند. واضح است که او می‌دانست جامعه، بدون قرار گرفتن فردِ انسان‌ها در کنار یکدیگر معنا پیدا نمی‌کند و شکل نمی‌گیرد.

اما به این نکته هم توجه داشت که کنار هم قرار گرفتن انسان‌ها، موجودی با هویتی جدید را می‌سازد که می‌تواند ویژگی‌ها و رفتار خاص خودش را داشته باشد.

اجازه بدهید یک مثال ساده بزنیم.

ما به سادگی می‌توانیم در مورد متوسط قد افراد جامعه صحبت کنیم. مثلاً بگوییم که متوسط قد ایرانیان، فرضاً ۱۷۵ سانتی‌متر است. اگر یک فرد از جامعه را جدا کنید، باز هم می‌توانید در مورد قد او صحبت کنید.

حالا به کار گرانت توجه کنید. او نرخ رشد جمعیت جامعه را به صورت منظم حساب می‌کرد. به عبارتی نرخ زاد و ولد و نرخ مرگ و میر را در کنار هم قرار می‌داد و از اختلاف این دو، نرخ رشد جمعیت را محاسبه می‌کرد.

^{۱۳۸} Data

^{۱۳۹} Information

^{۱۴۰} ناهمزمانی را به عنوان ترجمه‌ی Anachronism به کار می‌برم. منظورم این است که واژه‌ای را که در دوره‌ای رایج نبوده، در مورد رویدادهای آن دوره به کار ببریم. اولین بار که متوجه شدم آناکرونیزم یک سبک حرف زدن و بیان رویدادها و تشریح تحلیل‌هاست، زمانی بود که در جلسه‌ای توضیح دادم که سیاست‌های امام علی نهایتاً به نقطه‌ای رسید که ایشان را ترور کردند. بعد دیدم مخاطبان کمی با شنیدن این واژه راحت نیستند. در عین اینکه مشخصاً می‌دانیم ایشان ترور شده‌اند. علت راحت نبودن ما این است که ترور، واژه‌ای مدرن است و به آن زمان تعلق ندارد.

البته مثال‌های دیگری از آناکرونیزم هم در ادبیات ما وجود دارد. دکتر علی شریعتی قرائت خود از زندگی ابوذر را با عنوان ابوذر، خداپرست سوسیالیست عرضه می‌کند. استفاده از صفت سوسیالیست با فاصله‌ی حدود ده قرن از تاریخ تولد این اصطلاح، نمونه‌ی دیگری از آناکرونیزم محسوب می‌شود. نمونه‌ای از تلاش گسترده‌ی شریعتی برای ارائه‌ی یک قرائت سوسیالیستی از ایدئولوژی اسلامی.

آناکرونیزم گاهی می‌تواند مفید و گاهی گمراه‌کننده باشد. مفید از این جهت که وقایع غبارگرفته یا عادی شده‌ی تاریخ را برای ما زنده می‌کند. گمراه‌کننده از این جهت که بار معنایی واژه‌های مدرن را نیز به دوران کهن می‌برد و از این رو، باید با دقت و وسواس آن را به کار برد. نمی‌دانم در تئاتر و سایر هنرها، چه نامی بر این کار می‌گذارند. اما من وقتی در نمایشنامه سقراط، دیدم که افلاطون با کت و شلوار و کراوات روی صحنه آمده، حس کردم که از ابزار آناکرونیزم برای انتقال یک پیام استفاده شده است.

حالا ما با یک ویژگی در سطح کلان جامعه مواجه هستیم که در سطح خُرد قابل تعریف نیست. من می‌توانم بگویم نرخ رشد جمعیت در ایران دو درصد است. اما نمی‌توانم از شما بپرسم: ببخشید. رشد جمعیت شما چقدر است؟ یا رشد جمعیت پدرتان چقدر است؟

گرانث، به سراغ معیارهایی رفت که در سطح کلان^{۱۴۱} تعریف می‌شدند، اما در سطح خُرد^{۱۴۲} قابل تعریف و قابل سنجش نبودند. لازم است مجدداً تکرار کنم که مشخصاً این پارامترهای کلان، از دل رفتارها در سطح خرد، ایجاد می‌شوند و برمی‌خیزند. اما حرف اصلی این است که ما می‌توانیم در سطح کلان، پارامترها و رفتارهایی را بینیم که در سطح خرد مصداق مشخصی ندارند.

این نوع مطالعات و استخراج این نوع آمار، در نگاه انسان امروزی ساده و واضح به نظر می‌رسد. اما در زمان گرانث، این نوع مطالعات چندان باب طبع پیروان کلیسا نبود. آنها احساس می‌کردند که این نوع محاسبات و سنجش‌ها، عملاً دخالت در کار خداوند است. یا آنچنان که فیلیپ بال^{۱۴۳} نقل می‌کند، این ریاضیدانان خدانشناس می‌خواهند خدا را هم به بند معادلات خویش بکشند^{۱۴۴}.

خصوصاً اینکه گرانث معتقد بود که اقتصاد سیاسی باید بر پایه‌ی آمار اجتماعی بنا شود. اگر حاکمان یک کشور، تصمیمی می‌گیرند و چارچوب جدیدی تعریف می‌کنند یا قانونی را وضع یا رفع می‌کنند، باید اثر این تصمیم‌ها و سیاست‌گذاری‌ها بر شاخص‌های آماری جامعه که سلامت، مرگ و میر و نرخ رشد جمعیت از جمله‌ی مهم‌ترین آنهاست سنجیده شود.

در نگاه گرانث، حاکم وقتی می‌تواند از سیاست‌های خُرد خود دفاع کند که آثار کلان این سیاست‌ها مثبت و قابل دفاع باشد.

^{۱۴۱} Macro-scale

^{۱۴۲} Micro-scale

^{۱۴۳} Ball, P. (2006). Critical mass: how one thing leads to another. New York: Farrar, Straus and Giroux.

^{۱۴۴} اگر درک چنین پارادیمی - که آمار را هم مخالفت با کلیسا می‌داند - برایتان ساده نیست، کافی است به کسانی فکر کنید که در کشور خودمان تا همین اواخر هم، هواشناسی را نوعی دخالت در کار خداوند می‌دانستند. امروز هم از بارور کردن ابرها چندان استقبال نمی‌کنند و مطالعاتی مثل شبیه‌سازی انسان یا تلاش برای از بین بردن مرگ را تلاش‌هایی خلاف اراده‌ی حاکم بر هستی می‌دانند. اینکه چنین تلاش‌هایی دستاوردی دارد یا ندارد، اینکه این تلاش‌ها اخلاقی است یا نه، اینها بحث دیگری است. حرف من در اینجا مخالفت ریشه‌ای افراد گذشته‌گرا با چنین تلاش‌هایی به بهانه‌ی مخالفت با قوانین هستی است. البته خوب می‌دانیم که قوانین هستی، نامی است که انسان بر درک خود از هستی می‌گذارد. وگرنه پذیرش اینکه موجوداتی که خود یک زیرسیستم از سیستمی بزرگتر هستند در مورد قوانین حاکم بر آن سیستم بزرگتر به صورت مطلق نظر دهند، حتی اگر هم درست باشد، قطعاً علمی نیست.

تصور کنید که در آن دوران، حاکم سیاست‌گذاری می‌کرد و اگر تبعات آن مثبت بود، افتخار را به نفع خود مصادره می‌کرد و اگر منفی بود، بار آن را بر دوش مشیت و خواست الهی می‌گذاشت. در چنین فضایی می‌توان درک کرد که حرکت گرانت، جدای از علمی بودنش، نوعی تلاش برای تغییر انقلابی در پارادایم سیاست و سیاست‌گذاری بوده است.

به هر حال، گرانت هم در ۱۶۷۴ مرد و به بخشی از آمارهای مرگ و میر که به صورت منظم تنظیم و منتشر می‌کرد تبدیل شد. کار او را ویلیام پتی ادامه داد و به تدریج واژه‌ی **ریاضیات سیاسی**^{۱۴۵} را به دامنه‌ی واژگان فرهنگ سیاسی انگلستان افزود.

در اینجا هم منظور از ریاضیات سیاسی، ریاضیاتی است که سیاست و سیاستمداران باید تصمیم‌های خود را بر آن استوار کنند. شاید نادرست نباشد اگر قرن هفدهم و هجدهم در اروپای غربی و به طور خاص انگلیس را قرن گذار از سیاست‌گذاری سلیقه‌ای به سیاست‌گذاری مبتنی بر برنامه و ارقام بدانیم.

البته در اینجا هم، همچنان سلیقه دخیل است. اما لااقل حاکمان و سیاست‌گذاران می‌دانند که حتی اگر سلیقه‌ای عمل می‌کنند، به هر حال باید در چارچوب آمار و ارقام و بر پایه‌ی سنجش نتایج تصمیم‌ها، از برنامه‌ها و سیاست‌های خود دفاع کنند.

لازم به ذکر است که همه‌ی مخالفان و منتقدان گرانت و پتی، سیاستمداران و اهل کلیسا نبودند. مخالفان کلیسا هم با آنها در برخی زمینه‌ها مخالفت داشتند. از جمله نقدهای منتقدان - که منطقی هم به نظر می‌رسد - این بود که اگر می‌خواهید شاخص‌های کلان را برای جامعه استخراج کنید، همه چیز را در جمعیت و رشد جمعیت و زاد و ولد و مرگ و میر ببینید. مخالفان می‌گفتند مدل ذهنی گرانت و پتی تحت تاثیر کلیسا و کتاب مقدس است. چون در کتاب مقدس تصریحاً و تلویحاً به رشد جمعیت و اهمیت آن اشاره شده و اساساً در دوران کهن، مهم‌ترین معیار سنجش یک جامعه، تعداد «رأس» انسان‌هایی بوده است که در آن جامعه زندگی می‌کرده‌اند.^{۱۴۶}

^{۱۴۵} Political arithmetic

^{۱۴۶} اگر چند صد سال یا چند هزار سال به عقب بازگردید، نمی‌توانید به سادگی کسی را مجاب کنید که مثلاً کشور شما صد میلیون نفر جمعیت دارد و توسعه نیافته و عقب مانده است. کاش جمعیت شما مانند کشور یا قوم دیگری یک میلیون نفر بود، اما رفاه و آسایش بیشتری داشتید. در دوران کهن، هنوز جمعیت یک شاخص مهم و بلکه مهم‌ترین شاخص بود. حتی اگر جمعیت با کاسه‌ی گدایی هر روز در مقابل کاخ پادشاه صف می‌کشیدند، هنوز این وضعیت در مقایسه با حکومت خلوتی که در معبرهایش کسی رفت و آمد نمی‌کند و در دربارش تردد چندانی نیست مطلوب‌تر و دوست‌داشتنی‌تر محسوب می‌شد. مفهوم رفاه، توسعه و آسایش، مفاهیم مدرنی هستند که در قرون اخیر شکل گرفته‌اند. قبل از آن عملکرد حاکمان عموماً بر اساس گستره‌ی قلمرو جغرافیایی و نیز میزان جمعیتی که تحت سیطره‌ی آنها بود سنجیده می‌شد.

بحث تاس‌ها و آدم‌ها را می‌توان بسیار بیشتر از آنچه اینجا اشاره شد، بسط داد. اما آنچه برای من از مرور این بحث مهم بود، نخستین تلاش‌های انسان برای خلق و به‌کارگیری دانش‌های آمار و احتمال است. این تلاش‌ها، اگر چه امروز واضح به نظر می‌رسند و نمی‌توان فرد باسوادی را یافت که آنها را نقض یا رد کند، اما زمانی مخالفت مستقیم با مذهب و کلیسا فرض می‌شدند.

انسان، چنان عاشق نگاه رازآلود خود به جهان اطراف شده بود که نمی‌توانست به سادگی، نگرش‌های دیگری را که مبنای عظمت جهان را در قواعد دیگری می‌جستند و می‌یافتند تحمل کند^{۱۴۷}.

^{۱۴۷} اگر قصد داشتید روند توسعه‌ی دو علم آمار و احتمال و ورود آنها به حوزه‌ی علوم انسانی، اقتصاد، سیاست و دموکراسی را دنبال کنید، حتماً نام کندورسه را هم جستجو کنید و مطالعات او را هم بخوانید. کندورسه از جمله شهیدانی است که انسان در راه استوار کردن بنای آزادی و دموکراسی و مبارزه با استبداد تقدیم تاریخ کرده است. از جمله کارهای زیبای او، تلاش برای ارزیابی ریاضی **خرد جمعی** است. کندورسه با استفاده از دانش و آمار و احتمال، کوشید نشان دهد که اگر در یک جامعه، هر یک از مردم بتوانند گزینه‌ی صحیح در یک انتخابات را با احتمال بیش از ۵۰ درصد تشخیص دهند، افزایش تعداد رای دهندگان می‌تواند به بهبود کیفیت تصمیم‌گیری دموکراتیک کمک کند. او در این زمینه و زمینه‌های مشابه، مطالعات بسیاری کرده است و این مطالعات و محاسبات، از جمله اقدامات بزرگ زیربنایی قرون جدید است که باعث شده امروز دموکراسی به عنوان یک واقعیت اجتناب‌ناپذیر در سیاست کشورها پذیرفته شود.

هر فعالیت علمی، یا از جنس فیزیک است یا از جنس جمع کردن تمبر.

ارنست رادرفورد

جمع کردن تمبرهای پستی در قرن نوزدهم و بیستم، تفریحی جذاب بود. در عین اینکه داشتن کلکسیون تمبر کاری لوکس و تجملی محسوب می‌شد، منتقدان و کسانی که این نوع جمع‌آوری‌ها و کلکسیون‌سازی‌ها را مفید و ارزشمند نمی‌دانستند، اصطلاح **جمع کردن تمبر** را به عنوان نماد کار بیهوده در جمله‌ها و حرف‌های خود به کار می‌بردند.

با این مقدمه، درک مفهومی که در کلام ارنست رادرفورد پنهان شده ساده‌تر است. علم به دو بخش تقسیم می‌شود: فیزیک و سرگرمی.

البته این را هم باید طنز روزگار دانست که رادرفورد که چنین فیزیک را می‌ستود و کشفیات متعددی در زمینه‌ی هسته‌ی اتم داشت و پروتون را هم او کشف کرده است، در نهایت جایزه‌ی نوبل شیمی را دریافت کرد. علمی که در چارچوب قضاوت او، جزو سرگرمی‌ها محسوب می‌شد.

موضوع بحث من در این فصل، ظهور علم به معنای مدرن است. علمی که دیگر خود را در خدمت کلیسا نمی‌دید و وظیفه‌ی دانشمند را خدمت به دانش می‌دانست، نه کشیش.

حرف رادرفورد، نمونه‌ای از شعارهای علم مدرن محسوب می‌شود. علمی که به فکت و فیزیک ایمان دارد و هرچیزی جز آن را لفاظی و بازی با کلمات می‌داند.

اما دوران علم مدرن، حداقل دو قرن قبل از رادرفورد و دوستانش در قرن هفدهم میلادی آغاز شده است.

قرن هفدهم، قرن گالیله، فرانسیس بیکن، دکارت و نیوتون بود و این گروه از دانشمندان و فیلسوفان با ایستادن بر دوش متفکران پیش از خود و نگاه به دنیا از ارتفاعی بالاتر، زمینه‌ی شکل‌گیری و رشد علم به معنای مدرن آن را فراهم کردند.^{۱۴۸}

منصفانه - و واقع‌بینانه - نیست که قرن هفدهم را صرفاً با نام دانشمندانش بشناسیم و به نهادهایی که در آن زمان، زمینه‌ی شکل‌گیری علم جدید را فراهم کردند بی‌توجه باشیم. تاسیس انجمن سلطنتی در نیمه‌های قرن هفدهم اتفاق کوچکی نبوده و این انجمن، یکی از زیربناهای مهم توسعه علم در آن دوران بوده است.

^{۱۴۸} ظاهراً این تعبیر را نخستین بار، برنارد شارتر فیلسوف فرانسوی در قرن دوازدهم به کار برده است. اگر چه ما آن را معمولاً با نام نیوتون به خاطر می‌آوریم. نیوتون هم از تعبیر مشابهی استفاده کرده و متواضعانه و البته واقع‌گرایانه می‌گوید: اگر من افق‌های دورتری را دیدم، علتش این بود که بر شانه‌ی غول‌ها ایستادم. او با این تعبیر، می‌کوشد احترام گذشتگان را حفظ کرده و بر نقش آنها در تولد و توسعه مدل نیوتونی تأکید کند.

شعار انجمن سلطنتی در آن دوران، **نولیوس این وربا بود**^{۱۴۹}. این حرف اگر چه امروز ساده به نظر می‌رسد، اما نباید فراموش کنیم که در پایان چند قرن انجماد فکری اروپا، حرف بسیار مهمی محسوب می‌شد. قرونی که در آن، حرف‌ها اعتبار خود را از گوینده‌ی خود می‌گرفتند.

علم، حرفی بود که کشیش مطرح می‌کند و جهل، هر چیزی که کشیش تایید نمی‌کند. حتی اگر برای حرف کشیش، شواهدی در دنیای بیرون وجود نداشته باشد و برای دیدگاه مخالفش، مجموعه‌ی گسترده‌ای از شواهد در اختیار باشد.

اگر چه دانشمندان بسیاری در بازپس گرفتن تخت سلطنت علم از کشیشان نقش داشتند، اما شاید بتوان نیوتون را نماد این گروه از دانشمندان دانست. نیوتون ادامه‌ی مسیری است که فرانسیس بیکن مطرح کرد. بیکن تاکید کرد که **روش و متد مهم** است و نیوتون و دیگران هم در عمل نشان دادند که علم و دستاوردهای علمی باید اعتبار خود را از روش بگیرند، نه از کشیش یا کلیسا یا اعتبار گوینده.

برای کسانی که مطالعه‌ی دوران گذار از شبه علم به علم را دوست دارند، قرن هفدهم میلادی می‌تواند یکی از جذاب‌ترین بخش‌های قرون اخیر باشد. کافی است نوشته‌های نیوتون را مرور کنید تا ببینید این نماد فیزیک جدید، چگونه همچنان به برخی جادوگران و کیمیاگران گذشته و معاصر خود، اشاره می‌کند و ارجاع می‌دهد^{۱۵۰}.

^{۱۴۹} عبارت *Nullius in verba* را می‌توان به این صورت ترجمه کرد که **حرف مهم نیست**. یا **حرف هیچکس مهم نیست**. آنچه مهم است فکت‌ها و تجربه‌هاست و معیار صحت سنجی حرف‌ها، گوینده‌ی حرف (من فال) نیست، بلکه باید به خود حرف و مصداق تجربی آن (ما قال) توجه کرد.

^{۱۵۰} من چند سال پیش در وبلاگم، مطلبی در مورد نیوتون و جعبه‌ی فلزی‌اش نوشته بودم که با توجه به مربوط بودن آن به این بحث، به عنوان پاورقی در اینجا می‌آورم مراجعه به آن و مطالعه‌ی آن ساده‌تر باشد:

جعبه فلزی را باز کردند. کاغذها، مانند اسناد با ارزش بانکی، یکی پس از دیگری بیرون آورده شدند. هیجان جمع را فرا گرفته بود. دست نوشته‌های نیوتن پس از ۳ قرن، در حراجی در لندن در سال ۱۹۳۶ در حال عرضه بود. نوشته‌هایی که قبل از آن هرگز منتشر نشده بودند. جان کینز (که ما او را به بنیانگذاری یک مکتب اقتصادی می‌شناسیم) از عاشقان نیوتن بود. او خبر حراج را دیر شنید و وقتی رسید، بخش‌های زیادی به فروش رفته بود.

او تعدادی از برگه‌ها را خرید و در همانجا به تبادل و معامله‌ی برگه‌ها با کلکسیونرها پرداخت. آنقدر این کار را انجام داد تا بخشی از نوشته‌های نیوتن به صورت پیوسته جمع‌آوری شد. بخشی که از نظر بقیه بی‌اهمیت‌تر بود و حاضر شده بودند با او معامله کنند. احتمالاً بسیاری از ما در مورد متن دست نوشته‌ها حدس‌هایی داریم: قوانین گرانش، پیش‌بینی‌هایی در مورد آینده فیزیک، ریاضی و البته شاید هم نامه‌های عاشقانه.

اما دست نوشته‌ها حاوی این مطالب بودند: تلاش‌های گسترده نیوتن برای کیمیاگری و ایجاد طلا از سایر عناصر. او مدت‌ها دنبال سنگ فلاسفه گشته بود. او کوشیده بود جادوی اعداد را کشف کند و با مطالعه حرکت ستارگان، آینده زندگی خود و دیگران را پیشگویی کند. قانون گرانش نیوتن، یکی از محصولات جانبی زندگی کیمیاگرانه او بوده است.

بله. واقعیت تاریخی این است که نیوتن زندگیش را برای کیمیاگری گذاشته بود و آن را بیشتر از فیزیک و ریاضی دوست داشت. کینز بعد از مطالعه دست نوشته‌ها، ده سال بعد در ۱۹۴۶ آنها را به دانشگاه کمبریج (محل تحصیل نیوتن) هدیه داد تا این نوشته‌های او هم، مانند فرمول گرانش، حقیقت عمیق دیگری از هستی را برای ما آشکار کند:

به هر حال، از حاشیه‌ها که بگذریم به اصل ماجرای نیوتون و تاثیر عمیق و شگفت‌انگیزی که او بر سه قرن بعد از خود (و بهتر است بگوییم بر تمام تاریخ پس از خود) گذاشت می‌رسیم.

جهان نیوتون، جهانی ساده است. جهانی که در آن همه چیز را می‌توان به ذرات کوچک‌تر خرد کرد و رفتار بزرگ‌ترین اجسام شناخته شده - از جمله خورشید و ماه - هم، به کمک همان قواعد ساده‌ای توجیه می‌شود که مسئولیت سقوط یک سیب بر زمین را بر عهده دارند.

نیوتون، پیچیدگی جهان در نگاه انسان‌ها را تا حد زیادی کاهش داد. در نگاه او همه‌ی آنچه می‌بینیم، مجموعه‌ای از ذرات است که به واسطه‌ی نیروی گرانش در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

در دنیای نیوتونی، طلوع و غروب خورشید دیگر به اندازه‌ی قبل رازآلود و شگفت‌انگیز نبود. همچنانکه خسوف و کسوف هم دیگر انسان‌ها را نمی‌ترساند و رویدادی کاملاً واضح و طبیعی به نظر می‌رسید. شهاب‌سنگ‌ها اجرامی متحرک در آسمان بودند که در اثر نیروی گرانش و اینرسی خود حرکت می‌کردند. آبشارها، در اثر گرانش سقوط می‌کردند، رودها در اثر وزن قطرات آب به سمت دره‌ها و دریاها روان می‌شدند.

جهان نیوتون بیش از آنکه بر پایه‌ی اراده‌ای پنهان بنا شده باشد، بر پایه‌ی قواعدی بنا شده بود که برخی آشکار و برخی پنهان بودند. ضمن اینکه به نظر می‌رسید با قدرت گرفتن علم و نگاه آینده‌نگر (به جای نگاه گذشته‌نگر که کلیسا ترویج می‌کرد) بتوان آینده‌ای نه چندان دور را تصور کرد که همه‌ی اسرار هستی، کشف شده و قواعد پنهان هم یکی پس از دیگری آشکار می‌شوند.

برای اینکه عمق اثر مکانیک نیوتونی بر تفکر قرن هفدهم و قرون پس از آن را درک کنید، کافی است نوشته‌های جان لاک و رابطه‌ی این دو دانشمند با یکدیگر را مرور کنید^{۱۵۱}.

«دانستن‌ها و توهم‌ها»، «فهمیدن‌ها و نفهمیدن‌ها» همه بخشی از واقعیت ما هستند. اگر مهم‌ترین قوانین حاکم بر هستی را نیز بفهمی و برای دیگران آشکار کنی، هنوز ممکن است در لایه دیگری، در تلاش برای شعبده بازی و خلق ثروت باشی! و این لایه‌های مختلف، از ارزش تو کم نمی‌کند. نیوتن نابغه‌ای منحصر به فرد با دغدغه‌هایی متعالی در حد کهکشان‌ها و عالم هستی نبود. او هم انسانی بود مثل ما. او هم گاه در تشخیص علم و شبه علم ناتوان می‌شد. او هم رویاهای کودکانه در سر داشت و می‌خواست عناصر دیگر را به طلا تبدیل کند و یک شبه ثروتمند شود. خیلی‌ها درباره انتشار یادداشت‌های کیمیاگرانه نیوتن تردید داشتند و می‌ترسیدند با این کار، از ابهت تاریخی او کاسته شود. پندارشان چنین بود که نباید گذاشت تصویری که از نیوتن در ذهن هاست بشکند و او از برجی که برایش درست شده بود، پایین بیاید.

در مقابل اما گفتند: قرار نیست انسان‌ها را تنها از یک منظر ببینیم، اتفاقاً حالا می‌توان بیشتر از قبل به او احترام گذاشت؛ چون انسانی عادی بود مثل ما، ولی با پشتکار زیاد. او زندگیش را برای کشف طلا گذاشت و حاصل تلاشش اگر چه طلا نبود، اما قانونی طلایی بود.

کینز سخنرانی خود را در انجمن سلطنتی لندن چنین به پایان برد:

از آشکار شدن این برگه‌ها هراس نداشته باشید. ما دیر یا زود باید بیاموزیم که انسان‌ها را با همه «فهمیدن‌ها» و «نفهمیدن‌ها»یشان تحسین کنیم و نکوداشت آنان، نیازمند تحریف واقعیتشان نباشد.

^{۱۵۱} Rogers, G. (1978). The Empiricism of Locke and Newton. Royal Institute of Philosophy Lectures, 12, 1-30.

جان لاک، چنان به نیوتون و هویگنس احترام می‌گذاشت که در مقدمه‌ی کتابش در مورد ادراک انسانی^{۱۵۲} توضیح می‌دهد که در دورانی که کسانی مانند نیوتون و هویگنس زندگی می‌کنند، منطقی است که کسی چون من، چیزی ننویسد و مسیر را برای آن‌ها خلوت و باز نگه دارد.

او در مدل پیشنهادی خود از ذهن انسان معتقد است که فکرها را هم مانند اجرام فیزیکی می‌توان به اجزا و ایده‌های خردتر و کوچک‌تر تقسیم کرد. هر ایده را هم می‌توان خردتر کرد تا به المان‌های اصلی آن یعنی دریافت‌های انسان از محیط برسیم.

به عبارتی او به جای اتم، به صدا و نور و رنگ و دما و دریافت‌های مشابه توجه می‌کرد و معتقد بود که ترکیب آن‌ها ایده‌ها را می‌سازد و فکرها هم از ترکیب ایده‌ها شکل می‌گیرند.

جان لاک به جای نیروی گرانش به نیروی تداعی توجه کرد و گفت همان‌طور که گرانش، اجرام و سیارات و ذرات را در کنار هم نگه می‌دارد، تداعی هم ایده‌ها و افکار را کنار هم نگه می‌دارد و به این شکل، کهکشان تفکر هر فرد شکل می‌گیرد^{۱۵۳}.

نگرش نیوتونی، به تدریج دنیای مبهم قبلی را به جهانی کاملاً مکانیکی نزدیک می‌کرد. به دنیایی که شبیه ساعت کار می‌کرد و قواعد و قوانین فیزیک بر آن حاکم بودند.

همین نگرش بود که باعث شد ارنست رادفورد، مطالعه‌ی هر علمی جز فیزیک را تفریح و سرگرمی بداند. جالب اینجاست که این نگرش مکانیکی، چند قرن دوام پیدا کرد. شاید به این علت که مذهبی و لامذهب، می‌توانستند خواسته‌های خود را در آن بیابند. مخالفان مذهب، احساس می‌کردند که نگرش کلیسایی دیگر جایگاهی ندارد و شگفت‌انگیزترین رویدادهای عالم (حرکت ستاره‌ها و سیارات) به جای آنکه با اراده‌ای پنهان توصیف شوند، صرفاً حاصل گردن نهادن سنگ‌هایی معلق در فضا به قواعد فیزیک نیوتونی هستند.

موافقان مذهب (شامل خود نیوتون) هم معتقد بودند که جایگاه رفیع‌تری برای خداوند ساخته‌اند. حالا خدا به جای اینکه بر طبق روایت کشیشان، دست اندرکار روزمرگی‌ها باشد، قانون‌گذار عالم هستی بود و عالمی را بنا کرده بود که مثل ساعت، دقیق و منظم کار می‌کرد.

شاید همین که مدل علمی توانسته بود دل کلیسا و دشمنانش را همزمان به دست بیاورد باعث شد که علم، با غرور بر تخت سلطنت بنشیند و حاکمیت بلامنازع قرن‌های پس از خود را - حداقل تا میانه‌های قرن بیستم - در اختیار بگیرد.

^{۱۵۲} Locke, J., & Yolton, J. W. (1974). An essay concerning human understanding. London: Dent.

^{۱۵۳} کلمه‌ی کهکشان، کلمه‌ی جان لاک نیست و من آن را به کار برده‌ام. اما کاملاً با مدل ذهنی او تطبیق دارد. من هنوز هم در بسیاری از گفته‌ها نوشته‌های خودم تعبیر کهکشان فکری و منظومه فکری را به کار می‌برم و می‌گویم که برای آشنایی با انسان‌ها، نباید یک جمله یا یک حرف یا یک نوشته‌ی آن‌ها را بخوانیم. باید بخش زیادی از گفته‌ها و نوشته‌ها و فکرهای آن‌ها را بخوانیم و بشنویم و بشناسیم. اینجا فرصت خوبی بود تا به جان لاک، به خاطر اینکه این تعبیر را از او اقتباس کرده‌ام، ادای دین کنم.

چه کسی از آینده خبر دارد؟ اجازه دهید فضای تحقیقات را از همه سو باز کنیم. از دگماتیسم فاصله بگیریم. چه در قالب نگاه اتمیستی به دنیا و چه در قالب مخالفت با نگاه اتمیستی به دنیا.

بولتزمن – سخنرانی‌هایی در مورد نظریه گازها

چیزی را درست می‌دانید مطرح کنید. آن را به شکلی شفاف بنویسید و تا آخرین نفس از آن دفاع کنید.

بولتزمن

دومین سخنی که در بالای این صفحه از بولتزمن نقل کردم، برای او صرفاً یک شعار نبوده است. می‌توان پذیرفت که زندگی بولتزمن به تمامی در همین قاعده خلاصه شده است.

شاید بهتر باشد گفتگو درباره‌ی بولتزمن را از کمی قبل‌تر آغاز کنیم و به یک قرن قبل از بولتزمن برویم. جایی که ایمانوئل کانت در تلاش بود تا جهان را بهتر بفهمد.

همان‌طور که می‌دانید کانت سه‌گانه‌ی معروفی دارد که هر سه از جنس نقد هستند. در یکی به نقد استدلال‌های عقلی^{۱۵۴} پرداخته. در دیگری به نقد استدلال‌های مبتنی بر عمل در شرایط واقعی^{۱۵۵} توجه کرده و در سومی به نقد قضاوت^{۱۵۶} پرداخته است^{۱۵۷}.

آنچه در اینجا برای من جالب و دوست‌داشتنی است و فکر می‌کنم باید در مطالعه‌ی سیر تاریخی شکل‌گیری دانش پیچیدگی به آن توجه کرد، سومین کتاب از سه‌گانه‌ی انتقادی کانت است. یعنی آنها که به نقد قضاوت می‌پردازد. تلاش جدی کانت برای اینکه از پیش‌داوری فاصله بگیرد، در این کتاب به شدت مشهود است. همچنین نگاه کنجکاو او به دنیای اطراف را می‌توان از مثال‌های طبیعی از فیزیک و زیست‌شناسی که لابه‌لای بحث‌هایش مطرح می‌کند درک کرد. خواننده در مطالعه‌ی این اثر کانت، به این باور می‌رسد که او به نزدیک‌تر کردن علوم و رشته‌های علمی علاقمند است. کانت تمایلی ندارد رشته‌های علمی را بی‌هوده گسترش دهد و از هم دور کند و بین آنها دیوار بکشد. بخشی از تلاش‌های او هم برای تدوین مبانی تفکر به همین علاقه بازمی‌گردد.

^{۱۵۴} Critique of the pure reason

^{۱۵۵} Critique of the practical reason

^{۱۵۶} Critique of judgment

^{۱۵۷} برای کسانی چون من که تخصص فلسفه ندارند و آن مطالب جزئی که از فلسفه می‌دانند هم به کتابهای دینی مدرسه باز می‌گردد، نام کانت، از جمله نامهای پراپتهی است که به سادگی نمی‌توان به آن نزدیک شد. البته باید بپذیریم که زحمت مترجمان گرامی و وسواسی که انتقال معنای تک‌تک واژه‌ها دارند نیز در این ترسناک شدن کانت بی‌تاثیر نبوده است. بر سر همین که Pure را باید ناب ترجمه کرد یا محض یا صاف یا مجرد یا خالص چنان بحث‌ها شده و می‌شود که واقعاً شنیدنش هم نگران‌کننده است. البته این دغدغه‌ی امانت‌داری خوب است. اما شکل افراطی این نگرش باعث شده که به شخصه بر این باور هستم که ترجمه انگلیسی برخی از کتاب‌های کانت برای مخاطبی که انگلیسی نمی‌داند بسیار مفهوم‌تر و جذاب‌تر از فهم نسخه‌ی فارسی کارهای کانت برای فارسی‌زبانانِ مادرزاد است.

او همچنین، تمایلی ندارد که بی‌حد و حساب، هر مفهومی را که به عقل فیلسوفان می‌رسد به جهان اطراف تحمیل کرده یا در آن تزریق کند.

این نگرش را در بخش‌های متعددی از نوشته‌هایش می‌بینید. از جمله آنجا که وقتی می‌خواهد از هدفِ کلِ طبیعت به عنوان یک سیستم حرف بزند، به این مسئله اشاره می‌کند که ما صرفاً با تکیه بر یک آنالوژی از دنیای ذهنی خود به دنیای بیرونی، به این نتیجه رسیده‌ایم که باید در هر چیزی که می‌بینیم، هدف و علتی هم تزریق کنیم.

او البته نفی نمی‌کند که این کار می‌تواند گاهی اوقات به درک بهتر محیط کمک کند. کانت اگر چه از واژه‌ی مدل نام نمی‌برد، اما اگر بخواهیم حرف‌های او را به زبان امروزی ترجمه کنیم باید بگوییم که کانت، هدفمند فرض کردن سیستم‌ها را یک نوع مدل‌سازی می‌داند. این مدل‌سازی توسط انسان برای درک بهتر محیط انجام شده و لازم نیست که حتماً در محیط هم، چنین چیزی وجود داشته باشد.

همه‌ی اینها را به عنوان یک مقدمه گفتم تا حق کانت در جمله‌ای که اینجا از او نقل می‌کنم پایمال نشود. او در کتاب نقد قضاوت چنین می‌گوید:

صرفاً با تکیه بر اصول علم مکانیک، نمی‌توانیم وجود و سازمان‌دهی موجودات را توضیح دهیم. نه تنها از

توضیح دادن آنها ناتوانیم، بلکه حتی نمی‌توانیم با آنها آشنایی چندانی پیدا کنیم.

این مسئله چنان قطعی به نظر می‌رسد که ما می‌توانیم با جسارت کامل بگوییم منتظر ماندن یا امید داشتن به

اینکه روزی نیوتونِ دیگری بیاید و برایمان توضیح دهد که بر اساس قوانین طبیعی، حتی یک ساقه علف چگونه

شکل گرفته است پوچ و بی‌هوده است.

پس از مرگ کانت، تنها چهل سال زمان لازم بود تا نیوتونِ علف‌ها به دنیا بیاید.

لودویگ بولتزمن، در سال ۱۸۴۴ به دنیا آمد. اگر می‌خواهیم باورها و نگرش انسان‌ها را بهتر درک و تحلیل کنیم، مناسب است که به معاصران آنها و نیز کسانی که قبل و بعد از آنها آمده‌اند و رفته‌اند هم توجه داشته باشیم.

جی جی تامسون حدود دوازده سال پس از بولتزمن و اینشتین حدود سی و پنج سال بعد از تولد او به دنیا آمد. کارل مارکس، بیست و شش سال قبل از بولتزمن متولد شده و چارلز داروین در لحظه‌ی تولد بولتزمن، سی و پنج ساله بوده است. این چهار نفر را عمداً انتخاب کرده‌ام. تامسون، کسی است که کشف الکترون را به او نسبت می‌دهند و می‌توان کارهایش را نخستین نمونه‌های شیمی محاسبه‌ای^{۱۵۸} دانست. اینشتین هم کسی است که توانست به واژه‌ی زمان، مفهوم تازه‌ای ببخشد.

اما فراموش نکنیم که اگر بولتزمن و چند نفر دیگر از فیزیک‌دان‌ها نبودند، راه برای امثال تامسون، اینشتین و بعداً دیگرانی چون فاینمن هموار نمی‌شد.

^{۱۵۸} Computational Chemistry

از سوی دیگر، می‌توانید حدس بزنید که دو کلمه‌ی رایج در دوران نوجوانی و جوانی بولتزمن، **تکامل**^{۱۵۹} و **تاریخ** بوده‌اند. قبل از او هگل، از منظر خود به فلسفه‌ی تاریخ نگاه کرده بود و مارکس جوان هم می‌رفت تا تاریخ و اقتصاد را به هم گره بزند و مکتبی نو درافکند.

در زمانی که بولتزمن به سنی رسید که دیگر حرفش خریدار داشت و سخنرانی کردن و درس دادن و نوشتن را آغاز کرده بود، دیدگاه داروین در فضای فکری آن دوران – با وجود همه‌ی مخالفت‌ها و ممانعت‌ها – جایگاهی باثبات یافته بود. نام مهم دیگری را هم نباید فراموش کنیم: رودلف کلاوزیوس، فیزیکدان بزرگ آلمانی که نخستین نطفه‌های قانون دوم ترمودینامیک توسط او شکل گرفته بود.

این اسم‌ها را از آن جهت مورد اشاره قرار دادم که من، علاقه‌ی خاصی به بولتزمن دارم و داستان جدی نظریه‌ی پیچیدگی در نگاه من، از بولتزمن شروع می‌شود.

اما درست نبود که تاکید زیاد من بر بولتزمن در صفحات قبلی و آتی این کتاب، بر نام بزرگانی که مسیر او و دیگران را هموار کرده‌اند سایه بیندازد.

به همین علت، سعی کردم حداقل در حد اشاره به نام‌های مختلف، برخی از بزرگان معاصر بولتزمن را برای خواننده یادآوری کنم.

زمان به کدام سمت می‌رود؟

شاید اسم بردن از دانشمندان مختلف و جمع و تفریق تاریخ تولدها شما را خسته کرده باشد. بنابراین شاید بد نباشد پیش از آنکه وارد بحث‌های دقیق‌تر بشویم، یک بازی فکری را با هم مرور کنیم. این بازی، هم نوعی تنوع موضوعی محسوب می‌شود و هم ذهن‌مان را برای بحث‌های آتی در مورد انتروپی، نظم و بی‌نظمی، آماده‌تر می‌کند.

^{۱۵۹} کسانی که کمی حساس باشند، احتمالاً ترجیح می‌دهند به جای تکامل، از واژه‌ی فرگشت استفاده کنم. معمولاً هم این‌گونه استدلال می‌شود که کلمه‌ی **Evolution** در ذات خود، معنای بهتر یا بدتر شدن را ندارد. فقط به این نکته اشاره می‌کند که یک سیستم از حالتی به حالت دیگر، **Evolve** می‌شود. اما تکامل، به نوعی با کامل شدن در ارتباط است و این فرض در دل آن پنهان است که وضعیت فعلی همواره بهتر از وضعیت قبلی است و **Evolution** عملاً به عنوان حرکتی رو به کمال، تعبیر می‌شود.

قبلاً هم در جاهای دیگر گفته‌ام که فکر می‌کنم انتخاب **تطور** در زبان عربی به عنوان معادل **Evolution**، بسیار هوشمندانه و دقیق بوده است. چون صرفاً به این نکته اشاره دارد که سیستم، از **طوری به طور دیگر** تغییر وضعیت می‌دهد. اگر چه گفته می‌شود که فرگشت هم (مرکب از فر و گشت) چنین دارای معنای خنثی است، اما احساس می‌کنم پیشوند **فر**، در زبان فارسی بالاتر رفتن و بهبود را نیز جایی در عمق خود پنهان دارد. شاید باید در فارسی از واژه‌ی دگرگشت به عنوان معادل **تطور** یا **Evolution** استفاده کرد. اما من، با همان تکامل راحت‌تر هستم و به نظرم ساده‌تر است که خواننده‌ی گرامی، اگر احساس می‌کند که واژه‌ی تکامل گمراه‌کننده است، هر جا این واژه را دید در دل خود آن را **دگرگشت** بخواند.

فرض کنید روی ۱۰۰ عدد کارت، به ترتیب اعداد یک تا صد نوشته شده است. کارت‌ها را ابتدا به ترتیب کنار هم قرار داده‌اند.

یک نفر دسته‌ی کارت‌ها را به دست گرفته و آن‌ها را (به اصطلاح اهل ورق) بُر می‌زند و جابجا می‌کند. هر بار نتایج بر زدن را بر روی یک تخته یا یک برگ کاغذ می‌نویسند و ثبت می‌کنند. به عبارتی، دقیقاً ترتیب صد کارت را بعد از هر بار بُر خوردن ثبت می‌کنند. این کار (بُر زدن کارت‌ها) دویست مرتبه تکرار می‌شود.

سوال من اینجاست:

اگر این ۱۰۰ عکس آخر را (از مرحله‌ی ۱۰۱ تا ۲۰۰) به ترتیب واقعی یا به ترتیب معکوس به شما نشان دهند و شما در محل آزمایش نبوده باشید، آیا می‌توانید تشخیص دهید که ترتیب عکس‌ها واقعی است یا به صورت معکوس به شما ارائه شده است؟

ما دوباره در همین بحث به این سوال بازخواهیم گشت. اما سوالی که مطرح کردم، سوال کلاسیک بحث انتروپی نیست. بنابراین، اجازه بدهید اشاره‌ای به همان مثال‌های کلاسیک زمان بولتزمن و کلاوزیوس داشته باشم^{۱۶۰}.

یک میز بلیارد را در نظر بگیرید که روی آن **تنها دو توپ** وجود دارد. فرض کنیم میز اصطکاک ندارد. یعنی در اثر حرکت توپ‌ها، سرعت آنها کاهش پیدا نمی‌کند. ما یکی از دو توپ را با چوب به سمت توپ دیگر حرکت می‌دهیم و آنها با هم برخورد می‌کنند و دوباره از هم جدا می‌شوند.

ما از این کار، فیلمبرداری کرده‌ایم. اما قسمت اول فیلم را که چوب بلیارد به توپ خورده، برش می‌دهیم و حذف می‌کنیم.

بیاپید دوباره به همان سوال بازی ورق فکر کنیم:

اگر فیلم را در جهت معکوس پخش کنند، آیا می‌توانید این مسئله را بفهمید؟
به عبارتی، می‌توانید جهت زمان را در فیلم بلیارد ضبط شده تشخیص دهید؟

^{۱۶۰} البته من روایت داستان را کمی مدرن‌تر تعریف می‌کنم. بنابراین، لطفاً در دلتان نگویید که زمان بولتزمن دوربین فیلمبرداری وجود نداشته است.

قوانین نیوتون، نسبت به زمان متقارن هستند. به این معنا که ما واقعاً نمی‌توانیم بفهمیم که فیلم در جهت درست پخش شده یا نه.

حالا بگذارید بازی را سخت‌تر کنیم.

اگر سه توپ یا چهار توپ روی میز بلیارد وجود داشته باشد پاسخ شما چیست؟

اگر هشت توپ وجود داشته باشد چطور؟

احتمالاً جواب را حدس می‌زنید: دیگر می‌توانیم بفهمیم که فیلم به شکل معکوس پخش شده است.

به عنوان یک حالت خاص، فرض کنید شش توپ کنار هم هستند و شما با توپ هفتم به آن ضربه می‌زنید. اگر فیلم معکوس را برای یک مخاطب پخش کند، قاعدتاً او به سادگی می‌تواند متوجه شود که روند زمانی در فیلم، وارونه شده است.

به عبارتی:

وقتی در سیستم فقط دو ذره داریم، زمان می‌تواند برگشت‌پذیر باشد. اما هر بار یک ذره به سیستم اضافه می‌کنیم، برگشت‌پذیری زمان غیرممکن‌تر می‌شود.

البته محاسبات و معادلات بولتزمن بسیار پیچیده‌تر و جدی‌تر از این حرف‌هاست. اما همین مثال‌های ساده می‌تواند تصویری اولیه از اصطلاح **پیکان زمان**^{۱۶۱} – که توسط بولتزمن مطرح شد – در اختیار ما قرار دهد.

قبلاً هم به این نکته اشاره کردم که تا زمان بولتزمن، اگر این سوال مطرح می‌شد که آیا بازگشت یا سفر به گذشته امکان‌پذیر است، فیلسوفان برای پاسخ‌گویی به این سوال به میدان می‌آمدند.

این بار بولتزمن (یا همان نیوتونِ علف‌ها) کاغذ به دست با انبوهی از معادله‌ها و محاسبه‌ها آمده بود تا هم پاسخی به این سوال دهد، هم فضا را برای فیلسوفان و کشیشانی که می‌خواستند پاسخ را در تخیلات خویش بیابند تنگ کند.

بولتزمن و جهان کوکی

^{۱۶۱} Arrow of time

سخنرانی‌های بولتزمن در مورد نظریه‌ی گازها، بخش مهمی از جهان‌بینی و فلسفه‌ی او را بر ما آشکار می‌کند. بولتزمن در آن سخنرانی‌ها چند جمله دارد که تا حد زیادی می‌تواند ما را با نوع نگرشش آشنا کند^{۱۶۲}:

اگر از من پرسید که بعداً قرن ما چه نامیده خواهد شد؟ قرن آهن یا قرن بخار یا قرن الکتریسته؛ من بی‌تردید خواهم گفت: قرن نگاه مکانیکی به طبیعت. قرن داروین.

او در همان سلسله سخنرانی‌ها در مورد نظریه گازها، زمانی که به بحث انتروپی می‌رسد، جمله‌های جالبی مطرح می‌کند:

کشمکش و تنازع اصلی بین موجودات زنده، بر سر عنصرها نیست. همه‌ی آن عنصرهایی که ارگانیسم‌ها از آنها ساخته شده‌اند به وفور در هوا و آب و خاک وجود دارند. حتی برای انرژی هم نیست. انرژی به شکل گرما در همه‌ی ما موجود است و متأسفانه به چیز خاصی هم تبدیل نمی‌شود.

دعوا و رقابت بر سر انتروپی است. این انتروپی از طریق جریان انرژی که از سوی خورشید به سمت ما روان است، از خورشید گرم به زمین سرد می‌رسد. گیاهان، برای اینکه بهترین استفاده را از این انرژی بکنند، برگ‌هایشان را به اندازه‌ای که می‌توانند بزرگ می‌کنند و آن انرژی را به شیوه‌ای که ما هنوز کشف نکرده‌ایم، مورد استفاده قرار می‌دهند.

تا زمانی که خورشید سرد نشده و به دمای زمین نرسیده، این جریان ادامه دارد. یک آشپزخانه‌ی بزرگ شیمیایی وجود دارد و این سنتزهای شیمیایی توسط انرژی خورشید انجام می‌شوند. حاصل فعالیت این آشپزخانه‌ی بزرگ، دنیای حیوانات است که ما می‌بینیم.

چه چیزی بولتزمن را به این نگاه رساند؟ نقطه‌ی آغاز او کجا بود که نقطه‌ی پایانش در اینجا قرار گرفت؟ من، مستقل از اینکه از لحاظ تاریخی در زندگی بولتزمن چه گذشته است، ترجیح می‌دهم مبداء توسعه‌ی نگرش او در دو مفهوم وضعیت خُرد^{۱۶۳} و وضعیت کلان^{۱۶۴} در نظر بگیرم.

کلمه‌ی وضعیت در اینجا بسیار کلیدی است. مهم است که از اصطلاح سطح خرد و سطح کلان استفاده نکنیم (یا لااقل اگر چنین می‌کنیم، از ابتدا به بی‌دقتی پنهان در آن، توجه داشته باشیم).

^{۱۶۲} Broda, E. (1995). Ludwig Boltzmann: man, physicist, philosopher. Woodbridge (Conn.): Ox Bow Press.

^{۱۶۳} Microstate

^{۱۶۴} Macrostate

اصطلاح سطح^{۱۶۵} برای ما ناآشنا نیست. وقتی به مدیران سطح بالا یا لایه‌ی بالا در سازمان اشاره می‌کنیم، به خوبی می‌دانیم که صرفاً بخشی از مدیران یا اعضای سازمان را مد نظر داریم.

به عبارتی می‌توان گفت یک سازمان حاصل‌جمع سطوح پایین، سطوح میانی و سطوح ارشد است. سطح و لایه مفاهیمی هستند که سلسله مراتب^{۱۶۶} را کاملاً در خود پنهان کرده‌اند.

اما وقتی بولتزمن از وضعیت کلان و وضعیت خرد صحبت می‌کند، منظورش این نیست که گاز، حاصل جمع این دو وضعیت است. گاز دقیقاً در هر لحظه، هم در وضعیت خرد قابل بررسی است و هم در وضعیت کلان. این دو وضعیت، صرفاً یک نام‌گذاری هستند. این نام‌گذاری، عملاً در محل نظاره کردنِ ناظر ریشه دارد.

سازمان را می‌توان به دو سطح پایین و بالا یا سه سطح پایین و میانی و بالا تقسیم کرد. اما گاز، به سطح خرد و سطح کلان، تقسیم نمی‌شود.

جان کلام بولتزمن در همین جاست. گاز هست. فقط هست. همین. این ما هستیم که گاهی به وضع خرد و گاهی به وضع کلان آن نگاه می‌کنیم. پس اگر چنین است، منطقی است که بکوشیم بین این دو وضعیت رابطه برقرار کنیم.

این دو وضعیت به یک موجود یا ماده اشاره دارند. نباید کاملاً از یکدیگر مستقل باشند. باید بتوان از ویژگی‌های وضع خرد به ویژگی‌های وضع کلان رسید.

ممکن است خواننده‌ای که این داستان را می‌شنود و می‌خواند، با خود بگوید که: ضمن احترام به بولتزمن و همه‌ی زحمات‌هایش، این ماجرای وضعیت خرد و وضعیت کلان آن قدرها هم شگفت‌انگیز نیست که به شکلی حماسی مورد اشاره قرار گیرد و بولتزمن به خاطرش تعظیم و تقدیس شود.

اما نباید فراموش کنیم که بولتزمن زمانی در مورد اتم‌ها حرف می‌زد که بسیاری از فیزیک‌دان‌های برجسته هنوز وجود اتم را قبول نداشتند^{۱۶۷}. فقط کافی است به خاطر داشته باشیم که بولتزمن در سال ۱۹۰۶ خودکشی کرد و

^{۱۶۵} Level

^{۱۶۶} Hierarchy

^{۱۶۷} Lindley, D. (2015). Boltzmann's atom: the great debate that launched a revolution in physics. Place of publication not identified: Free Press.

اینشتین در سال ۱۹۰۵ در یک مقاله با استفاده از قواعد مکانیک آماری، به شکلی دقیق توضیح داد که حرکاتی براونی می‌توانند ناشی از برخورد مولکول‌ها باشند.

در واقع، محاسبات اینشتین، تاییدی دیگر بر مدل اتمی بولتزمن بود. زمانی که اینشتین تازه به این نتیجه رسید، بولتزمن حدود ۳۰ سال بود که دانشگاه به دانشگاه، می‌چرخید در این زمینه سخنرانی می‌کرد و مسخره‌اش می‌کردند و خسته از همکاران خود، به خودکشی و پایان دادن به زندگی‌اش فکر می‌کرد.

با توجه به این توضیحات، بهتر است حرف بولتزمن در مورد **وضعیت خرد** و **وضعیت کلان** و رابطه‌ی این دو وضعیت را به این صورت بفهمیم: «با وجودی که ما صرفاً از **وضعیت کلان یک گاز** اطلاع داریم، می‌توان فرض کرد که این گاز از ذرات بسیار ریزی به نام اتم تشکیل شده با مطالعه و بررسی **وضعیت خرد** (تک تک آنها) می‌توان این وضعیت کلان را بهتر فهمید و توصیف کرد.

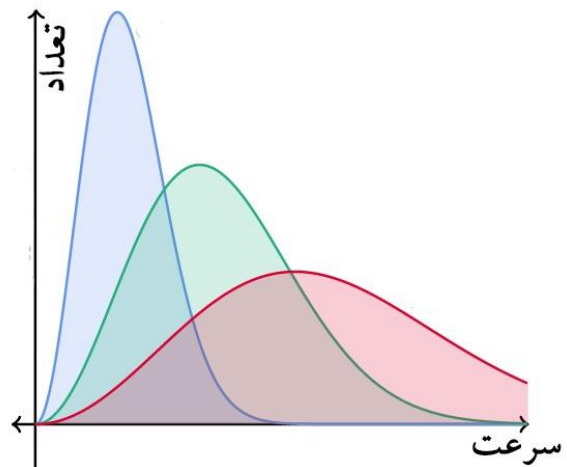
حالا می‌توانیم راحت‌تر در مورد مفروضات بولتزمن حرف بزنیم.

بولتزمن می‌گوید: بیایم فرض کنیم که گاز، از ذرات بسیار کوچکی تشکیل شده که به شکل گلوله‌ها یا توپ‌های الاستیک هستند و در تعداد بسیار زیاد، در حال حرکتند. این ذرات مدام با هم برخورد می‌کنند و قوانین نیوتون در مورد آنها کاملاً صادق است. اگر موقعیت و سرعت تمام این ذرات را (در وضعیت خرد) بدانیم، می‌توانیم حساب کنیم که دما و فشار گاز (که در وضعیت کلان قابل سنجش هستند و در وضعیت خرد معنا ندارند) چقدر خواهد بود.

طبیعی است که بولتزمن قصد نداشت بنشیند و سرعت و موقعیت تک تک مولکول‌ها را حساب کند. بلکه با محاسبات آماری، می‌کوشید **توزیع سرعت مولکول‌ها** را محاسبه کند. به عبارتی بگوید که اگر مولکول یک گاز را به صورت تصادفی در یک لحظه در نقطه‌ای از یک اتاق پیدا و بررسی کنیم، **سرعت محتمل آن ذره** (یا مولکول یا اتم) چقدر خواهد بود. ما امروز پاسخ بولتزمن به این سوال را به عنوان **توزیع بولتزمن-ماکسول** می‌شناسیم.

قاعدتاً جزئیات ریاضی این توزیع - حداقل در این فصل از کتاب که هنوز وارد ریاضیات نشده‌ایم - مفید و جذاب نخواهد بود.

فقط کافی است بدانیم که در توزیع بولتزمن-ماکسول، محور افقی سرعت مولکول‌ها و محور عمودی تعداد مولکول‌هاست. به عبارتی، می‌توان گفت اگر مساحت زیر هر نمودار را معادل تعداد مولکول‌های یک گاز در نظر بگیریم، با انتخاب یک سرعت مشخص، ارتفاع نمودار، تعداد مولکول‌هایی را که با آن



سرعت در حال حرکت هستند نشان می‌دهد.

هر سه نمودار فوق، مربوط به یک گاز، اما در دماهای متفاوت هستند. نقطه‌ی پیک (ماکسیمم) نمودار، نشان می‌دهد که بیشترین تعداد مولکول‌های گاز، با چه سرعتی در حال حرکت هستند.

همان‌طور که می‌بینید در نمودار صورتی رنگ، سرعت متوسط مولکول‌ها بیشتر از سرعت متوسط مولکول‌ها در نمودار آبی رنگ است. به عبارتی، نمودار قرمز رنگ، وضعیت گاز را در دمایی بالاتر (در مقایسه با نمودار آبی رنگ) نمایش می‌دهد.

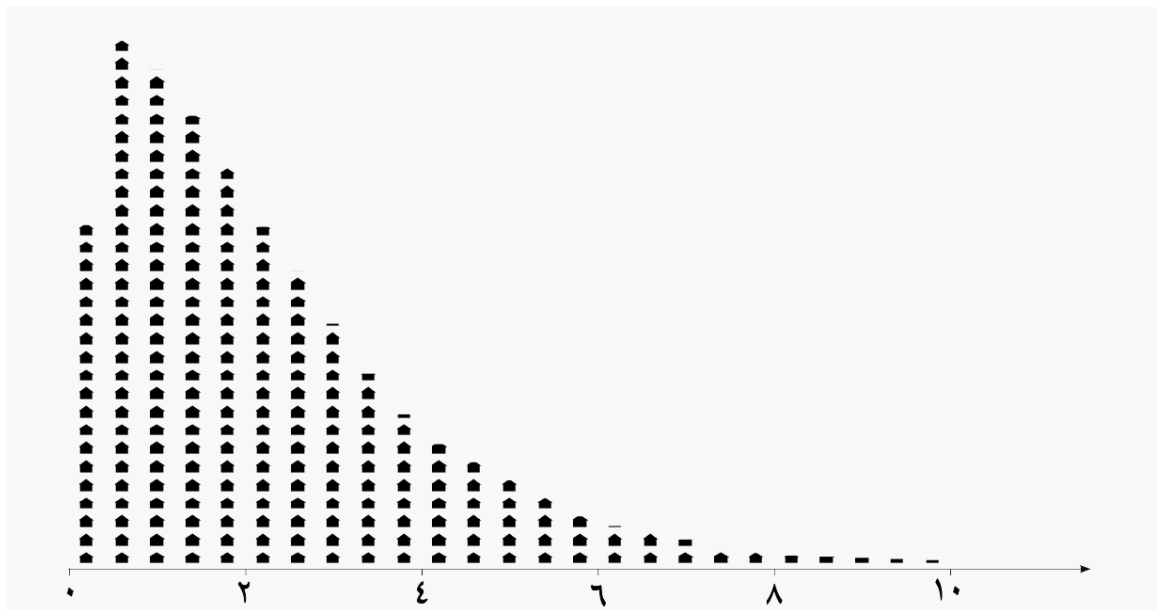
بسیار مهم است به این نکته توجه داشته باشیم که آنچه ما در توزیع بولتزمن-ماکسول می‌بینیم، خرده وضعیت یک سیستم است. نباید فکر کنیم حالا که اطلاعات همه‌ی مولکول‌ها را داریم، وضعیت کلان سیستم را هم می‌شناسیم.

بولتزمن چنان به مولکول‌های گاز نزدیک می‌شود که تک تک آنها را می‌بیند و آمار آنها را ثبت می‌کند. او دقیقاً می‌داند - یا فرض می‌کند می‌داند - که سرعت در گاز چگونه توزیع شده است. به عبارتی مثلاً می‌توانید از او بپرسید: «آقای بولتزمن. الان دمای گاز ۴۰ درجه سانتی‌گراد است. چند درصد مولکول‌ها سرعتی بین ۳۰۰ تا ۳۲۰ متر بر ثانیه دارند؟». بولتزمن بر اساس فرمولی که برای توزیع سرعت (و در واقع انرژی جنبشی) در گازها استخراج کرده است، می‌تواند جواب شما را بدهد.^{۱۶۸}

^{۱۶۸} توسعه‌ی علم در دهه‌های بعد نشان داد که توزیع بولتزمن هم، کاملاً دقیق نیست. اما اگر گاز در شرایط متعارف باشد و چندان به سمت دماهای بسیار بالا یا بسیار پایین سوق داده نشود، خطای توزیع بولتزمن بسیار جزئی و قابل اغماض است.

پس ارزش کار بولتزمن در کجاست؟ نکته‌ی مهم این است که دما و فشار و انتروپی، از جمله ویژگی‌هایی هستند که ظهور می‌کنند. به عبارتی، در وضعیت خرد قابل تعریف نیستند. اما بولتزمن توانست بین این شاخص‌های سطح کلان و ویژگی‌های سطح خرد در گاز، رابطه برقرار کند.

برای اینکه اهمیت و عظمت کار بولتزمن را بهتر تصور کنیم، فرض کنید نمودار زیر به شما داده شده است:



این نمودار کاملاً فرضی است. اما مثلاً توضیح زیر در مورد آن به شما داده شده است:

خانه‌هایی که بین صفر و دو قرار گرفته‌اند، نشان‌دهنده‌ی تعداد خانوارهایی هستند که ماهیانه بین صفر تا دویلمیون تومان درآمد دارند.

به همین شیوه، خانوارهایی که بین دو تا چهار میلیون در ماه درآمد دارند هم، ترسیم شده‌اند. همین شیوه برای دسته‌های درآمدی دیگر هم ترسیم شده و آخرین دسته، بین هشت یا ده میلیون تومان درآمد ماهیانه دارند.

اولین نکته‌ای که شما بعد از آشنایی با بولتزمن به خاطر دارید این است که این نمودار، به خودی خود، وضع کلان جامعه را نشان نمی‌دهد. بلکه صرفاً وضع اقتصاد کشور را در سطح خرد نشان می‌دهد.

حالا سوال بعدی که از شما پرسیده می‌شود این است که چه پارامتری در سطح کلان می‌توانید برای این جامعه تعریف کنید؟ پارامتری که در سطح خرد قابل تعریف نباشد. اما از توزیع درآمد در سطح خرد استخراج شود.

همان‌طور که دما در سطح خرد قابل تعریف نیست، اما نهایتاً بر پایه‌ی توزیع سرعت مولکول‌ها در سطح خرد شکل می‌گیرد.

شاید با این سوال و سوال‌های مشابه، بهتر بتوانیم قدرت ذهن بولتزمن را در تصور کردن آن مفاهیم مجرد - آن‌هم در شرایطی که نه جامعه و نه همکارانش با او همراه و هم‌قدم نبودند - درک کنیم.

انتروپی، همان بی‌نظمی نیست

بعید می‌دانم بدون آشنایی با ترمودینامیک و تاریخی که بر آن گذشته است، بتوانیم به درک درستی از نظریه اطلاعات و پس از آن، به درکی عمیق از نظریه پیچیدگی و سیستم‌های پیچیده برسیم. در میان مباحث مطرح در علم ترمودینامیک، بحث انتروپی برای ما از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

این مسئله صرفاً یک نظر شخصی نیست. تا این لحظه، هنوز کتابی در حوزه نظریه اطلاعات^{۱۶۹} ندیده‌ام که در نمایه‌ی پایانی آن، نام بولتزمن و فرمول انتروپی او وجود نداشته باشد.

قاعداً بارها در طول بحث‌های آینده در این کتاب، به سراغ انتروپی خواهیم رفت. بنابراین، در اینجا قرار نیست وارد پیچیدگی‌های انتروپی شویم و همین که کمی در مورد رابطه‌ی انتروپی و بولتزمن بدانیم کافی است.

با وجودی که درس رسمی دانشگاهی‌ام را در حوزه‌ی مکانیک خوانده‌ام و قاعداً زمان قابل توجهی پای درس ترمودینامیک نشسته‌ام و افزایش و کاهش انتروپی سیستم‌ها را محاسبه کرده‌ام، احساس می‌کنم سیستم آموزش دانشگاهی علاقه یا میل یا انگیزه‌ی چندانی به تفهیم دقیق این مفهوم مهم و ارزشمند ندارد.

البته، قطعاً تعداد زیادی از دانشجویان مهندسی محاسبه‌ی انتروپی را فرا می‌گیرند و مثال‌های استاندارد آن را هم حفظ هستند. اما انتروپی به معنای عمیق و جدی آن، موضوعی چنان مهم بود و چشم را به روی جهان باز می‌کرد که بولتزمن را به خودکشی رساند و بعداً شون را به نظریه‌ی اطلاعات.

به نظر نمی‌رسد که آنچه ما در دانشگاه‌ها به عنوان انتروپی می‌آموزیم، تأثیری محسوس - چه سازنده و چه مخرب - بر جای گذاشته باشد. شاید به همین علت است که وقتی انتروپی را به بی‌نظمی تعبیر می‌کنند و با آن مترادف می‌دانند، حتی آنها که درس این بحث‌ها را هم خوانده‌اند، چندان حوصله‌ی مخالفت یا لااقل توضیح و تشریح دقیق‌تر بحث را ندارند.

بولتزمن، کلاویوس، کارنو، کتری آب و ماشین بخار

دوران بولتزمن، دورانی بود که مفهوم انرژی به تدریج در ادبیات فیزیک و ادبیات عمومی، جایگاهی فاخر پیدا کرده می‌کرد.

^{۱۶۹} Information Theory

فیزیک، قرن‌ها تاکید داشت که نباید هر چه را نمی‌توان دید، به قلمرو اسرار ربط داد. به عبارتی، تفکیک بین نادانسته‌ها و رازها یکی از دغدغه‌های مهم فیزیک و به طور کلی علوم تجربی بوده است.

در مقابل، کلیسا، هر نادانسته‌ای را فرصتی ارزشمند می‌دانست تا مهر تایید دیگری بر تفسیر رازآلوده‌ی خود از جهان هستی بیافزاید.

طبیعی است که می‌توانید به سادگی حدس بزنید که در چنین شرایطی، مفهوم انرژی تا چه حد در هر دو اردوگاه، مورد استقبال قرار گرفته است.

به نظر می‌رسید بسیاری از آنچه فیزیک هنوز نفهمیده و متافیزیک همواره ادعا می‌کرده است، در پس این وازه نهفته باشد. کافی است به آثار یونگ و فروید مراجعه کنید تا ببینید چقدر از این مفهوم تاثیر پذیرفته‌اند.^{۱۷۰}

از سوی دیگر، فیزیک‌دان‌ها هم می‌توانستند بگویند که آنچه شما به عنوان اسرار پنهان می‌گفتید و می‌دانستید، صرفاً مکانیزم‌های ناشناخته بوده‌اند و هر چه مفهوم انرژی را بیشتر بفهمیم، قلمرو ناشناخته‌ها تنگ‌تر و کوچک‌تر می‌شود.

بیایید با هم، به نیمه‌های قرن نوزدهم فکر کنیم. زمانی که جیمز ژول، در مورد رابطه‌ی کار و انرژی مطالعه می‌کرد.^{۱۷۱} بحث بقای انرژی، در زمان ژول، حرف تازه‌ای نبود. محاسبه‌ی انرژی جنبشی و پتانسیل از اوایل قرن هجدهم کاملاً رایج و قابل درک بود.

آنچه ماجرا را دشوار می‌کرد، بحث اصطکاک در سیستم‌ها بود. چیزی که باعث می‌شد همیشه بخشی از انرژی جنبشی و پتانسیل هدر رود و همواره – بسته به میزان اصطکاک – نتایج معادل فیزیکی روی کاغذ، با نتایج آزمایش‌های واقعی فاصله داشته باشد.

تقریباً واضح بود که آنچه از انرژی جنبشی (یا پتانسیل) در قالب اصطکاک از بین می‌رود، به گرما تبدیل می‌شود. اما اینکه چنین چیزی واضح است، با اینکه ادعایی را به روش علمی، مطالعه و تحقیق و اثبات کنیم، تفاوت بسیار دارد.

بخش قابل توجهی از ترمودینامیک قرن نوزدهم، به مطالعه‌ی یک سوال اختصاص یافت: رابطه‌ی بین کار (نیرو و جابجایی) و انرژی با “گرما” چیست؟ آیا می‌توانیم گرما را دقیقاً شکل دیگری از انرژی در نظر بگیریم؟

برای پاسخ به این سوال، دیگر کافی نبود که بگوییم انرژی اجسام متحرک به علت اصطکاک در قالب گرما هدر می‌رود. لازم بود کسی بگوید: میزان گرمای تولید شده، دقیقاً مساوی انرژی مکانیکی تلف شده است.

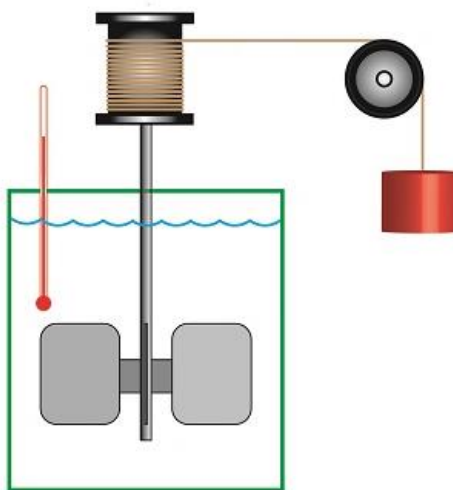
این ادعا، اگر ثابت می‌شد به آن معنا بود که گرما دقیقاً شکل دیگری از همان انرژی مکانیکی است که از زمان نیوتون در فیزیک محاسبه و استخراج می‌شده است.

^{۱۷۰} انرژی‌های مردانه، انرژی‌های زنانه، انرژی آرکتایپ‌ها، انرژی‌های روانی، انرژی فکری، انرژی غریزی و ده‌ها استعاره و تعبیر دیگر که در ادبیات یونگ و فروید دیده می‌شوند، همگی نشان می‌دهند که این واژه، ابزار ارزشمندی برای دانشمندان و نویسندگان، حتی در خارج از حوزه‌ی فیزیک و ترمودینامیک بوده است.

^{۱۷۱} آن آقای ژول، همان کسی است که به احترامش، هنوز هم انرژی را با واحد ژول می‌سنجند.

اگر چه افراد مختلفی در این زمینه مطالعه کردند، اما امروز نام **جیمز ژول** را بیش از هر کس دیگری با این بحث به خاطر می‌آوریم.

ژول دستگاهی ساده، اما خلاقانه اختراع کرد. او وزنه‌ای را با طناب آویخت و از روی قرقه‌ای رد کرد و آن قرقه را به یک پروانه‌ی گردان داخل ظرف آب متصل کرد و وزنه را رها کرد تا چند متر پایین بیاید و پروانه را بچرخاند و افزایش دمای آب را اندازه گرفت تا ببینید آیا انرژی تلف شده دقیقاً با گرمای ایجاد شده در آب برابر است یا نه.



بعد از آزمایش ژول و آزمایش‌های مشابهی که دیگران انجام دادند، مشخص شد که **قلمرو کار و انرژی** (علم مکانیک) را نباید جدای از **قلمرو حرارت** (علم ترمودینامیک) در نظر گرفت. ظاهراً گرما، شکل دیگری از کار مکانیکی بود. اگر چه هنوز چیزهای زیادی در مورد آن نمی‌دانستیم.

نمونه‌هایی که **کار مکانیکی** در آن به **گرما** تبدیل می‌شود، بسیار است. ما دائماً این تبدیل **کار به گرما** را تجربه می‌کنیم. حتی بدون داشتن کوچک‌ترین وسیله‌ی آزمایشگاهی، کافی است کمی دستان خود را به هم بساییم یا کمی بدویم، تا تبدیل شدن **کار مکانیکی** به **گرما** را ببینیم.

اما آنچه روند علم ترمودینامیک و پس از آن علم نظریه اطلاعات را شکل داد، **عکس این ماجرا** بود. بحث تبدیل شدن **گرما** به **کار مکانیکی** فرایندی بود که نگاه انسان به محیط اطراف را به طرز شگفت‌انگیزی باز کرد.

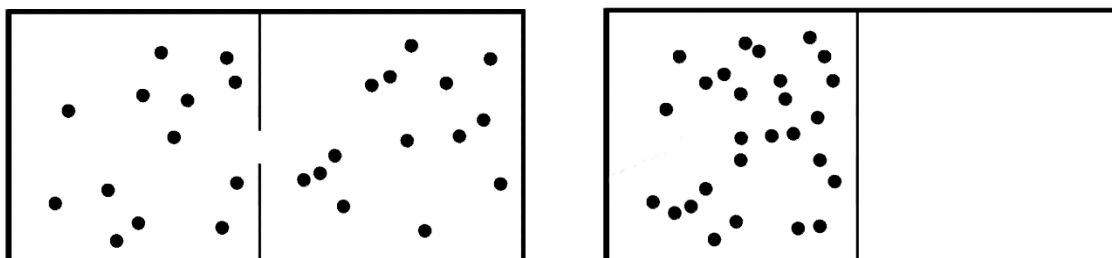
بیایید به کتری آبی که روی اجاق می‌جوشد، یا شکل رسمی‌تر و کاربردی‌تر آن یعنی موتور بخار فکر کنیم. اینها نمونه‌هایی واضح و مفید از تبدیل انرژی گرمایی به کار محسوب می‌شوند. البته قاعدتاً در مورد کتری آب، تنها اتفاقی که می‌افتد تکان خوردن درب کتری است. اما به هر حال، کتری و ماشین بخار، شفاف‌ترین مثال تبدیل انرژی گرمایی به کار مکانیکی هستند.

یکی از بهترین نوشته‌هایی که می‌توانند در این زمینه، تصویری مناسب و دقیق از فضای فکری حاکم بر میانه‌ی قرن نوزدهم برای ما ترسیم کنند، مقاله‌های سعدی کارنو^{۱۷۲} هستند. بسیاری از ما با شنیدن نام کارنو، به یاد ماشین کار دائم می‌افتیم. اما آنچه – در خارج از فضای فیزیک‌دانان و گفتگوهای عمومی – کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، نقش کارنو در تفکیک **دما** و **انرژی گرمایی** و شفاف کردن این بحث به کمک چیزی است که امروز، به نام **موتور حرارتی کارنو** می‌شناسیم. کارنو تاکید می‌کرد:

اینکه می‌گوییم **گرما** به کار مکانیکی تبدیل می‌شود تعبیر درستی نیست. گرما نمی‌تواند همیشه به کار مکانیکی تبدیل شود. این **اختلاف دما** است که می‌تواند کار مکانیکی ایجاد کند. انرژی گرمایی از جنس گرم‌تر به جسم سردتر می‌رود و در این مسیر، اگر مکانیزم درستی طراحی کنیم، می‌توانیم از آن کار هم بگیریم. نباید **انرژی گرمایی** را با **دما** اشتباه بگیریم. حرف کارنو، حرف ساده‌ای است که وقتی می‌شنویم، واضح و حتی بدیهی به نظر می‌رسد. اما واقعیت این است که بسیاری از ما، هنوز هم آن را عمیقاً درک نمی‌کنیم یا مورد توجه قرار نمی‌دهیم. این بحث شبیه **پتانسیل الکتریکی** است. این **اختلاف پتانسیل** است که مهم است و نه میزان پتانسیل. این **اختلاف دما** است که مهم است و نه **میزان انرژی گرمایی**. این همان نکته‌ای است که کلاوزیوس آن را به خوبی درک می‌کرد و به بهترین شکل قابل تصور، مفهوم آن را توسعه داد و به مفهوم **انتروپی** رسید. می‌توانیم بگوییم انرژی حرارتی به دو شکل به **درد بخور** و به **درد نخور** وجود دارد. اجازه بدهید کمی علمی‌تر بگوییم: گاهی اوقات، انرژی حرارتی را می‌توان به کار تبدیل کرد. گاهی اوقات نمی‌توان به کار تبدیل کرد. هر **سیستم بسته‌ای** که در نظر بگیرید، بخشی از انرژی داخلی آن قابل تبدیل به کار و بخشی دیگر **غیرقابل تبدیل** به کار است.

سهم این انرژی گرمایی غیرقابل تبدیل در یک سیستم، همان چیزی است که **انتروپی** نامیده می‌شود. مثال‌های کلاسیک برای توضیح این پدیده بسیار است. اما من این مثال را بیشتر از بقیه دوست دارم:

^{۱۷۲} Carnot, S. (2009). Reflections on the motive power of fire: and other papers on the second law of thermodynamics by É. Clapeyron and R. Clausius. Mineola, NY: Dover Publ.



یک سیستم بسته حاوی یک گاز را مطابق شکل بالا (سمت راست) در نظر بگیرید. وقتی می‌گوییم سیستم بسته است، منظورمان این است که هیچ تبدیلی با جهان اطراف ندارد. حتی می‌توان فرض کرد جهانی بیرون از این سیستم وجود ندارد. مثال کلاسیک انتروپی این است که می‌گویند در سمت راست، می‌توان از انرژی گرمایی موجود در سیستم، خروجی مکانیکی گرفت (مثلاً فرض کنید دیواره‌ی میانی را سوراخ کنیم و یک پروانه‌ی کوچک در آنجا بگذاریم. یا اینکه کل دیوار (مشابه پیستون در موتورهای احتراق داخلی) به سمت راست حرکت کند.

در حالت سمت چپ بخشی از دیواره برداشته شده و گاز در هر دو نیمه پخش شده است. با توجه به اینکه هر دو هیچ تبادل حرارتی با محیط بیرون نداشته‌ایم، سیستم در وضعیت چپ و راست، دارای انرژی گرمایی یکسانی است. اما می‌دانیم که انرژی در وضعیت سمت چپ، قابل تبدیل به کار مکانیکی نیست.

این همان مفهومی است که آن را با **انتروپی** بیان می‌کنیم و می‌گوییم **انتروپی سیستم در وضعیت سمت چپ بیشتر از انتروپی سیستم در وضعیت سمت راست است**.

شاید همین مثال کلاسیک و مثال‌های مشابه آن باعث شده‌اند که برای بسیاری از ما، **انتروپی** با **بی‌نظمی** مترادف باشد. این نوع تعبیر انتروپی به بی‌نظمی، اگر چه در سطوح اولیه‌ی مسائل فیزیک و مکانیک چندان گمراه‌کننده نیست، اما باعث می‌شود نتوانیم به سادگی از **انتروپی در ترمودینامیک به انتروپی در نظریه اطلاعات** حرکت کنیم.

کلاوزیوس توضیح می‌دهد که در انتخاب واژه انتروپی، کوشیده است هم به ریشه‌های یونانی توجه داشته باشد و هم بکوشد واژه‌ای بسازد که با کلمه‌ی **انرژی**، هم‌وزن و هم‌آوا باشد.

بر اساس آنچه کوپر نقل می‌کند^{۱۷۳}، کلاوزیوس تایید داشت که مفهوم انتروپی هم در حد انرژی مهم است. از سوی دیگر بر این باور بود که برای نام‌گذاری پارامترهای مهم علمی، باید به سراغ زبان‌های کهن رفت. چون ریشه‌های آنها توسط افراد بیشتری در جهان، قابل درک است.

^{۱۷۳} Cooper, L. N. (1981). An introduction to the meaning and structure of physics. Providence, RI: Peleus Press (c/o Leon N. Cooper, Physics Dept., Brown University).

آنچه ما - در خارج از کلاس ترمودینامیک - از انتروپی می‌دانیم، معمولاً تعریفی است که کلاویوس در قالب قانون دوم ترمودینامیک ارائه کرده است: گرما هرگز به خودیِ خود از جسمی که دمای پایین‌تر دارد به جسمی که دمای بالاتر دارد نمی‌رود.

کلاویوس در توصیف این وضعیت، مفهوم انتروپی را مطرح می‌کند و اینکه در سیستم‌های بسته، انتروپی همواره یا ثابت می‌ماند و یا افزایش پیدا می‌کند. به عبارتی، تقارن نیوتونی - آنچنانکه در آغاز این بحث مورد اشاره قرار دادم - در مقیاس‌های بزرگ وجود ندارد.

جهان، جهت دارد. در نهایت، فرایندها به شکلی انجام می‌شوند که انتروپی یک سیستم بسته، افزایش پیدا کند و جهت معکوس، به خودیِ خود طی نمی‌شود.

کلاویوس، همچنین فرمول انتروپی را هم (که همان گرمای منتقل شده در فرایند تقسیم بر دمای فرایند است) برای نخستین بار مطرح کرد.

ممکن است بعضی از ما روایت آقای کلون از قانون دوم ترمودینامیک را شنیده باشیم. او تاکید می‌کند که اگر چه کار، می‌تواند به تمامی به گرما تبدیل شود، اما گرما هرگز نمی‌تواند به صورت کامل به کار تبدیل شود. به عبارتی، همیشه بخشی از عمل تبدیل کار به گرما، بازگشت‌ناپذیر است.

به هر حال، در این قسمت از بحث که در مقدمه‌ی پیچیدگی هستیم، قاعدتاً مرور مجدد این مباحث نه لازم است و نه مفید. خواننده‌ای که علاقمند باشد می‌تواند نخستین کتاب ترمودینامیک را که در اطراف خود پیدا می‌کند ورق بزند و توضیحات بیشتری در مورد انتروپی بخواند.

نظم و بی‌نظمی یک مفهوم ذهنی است

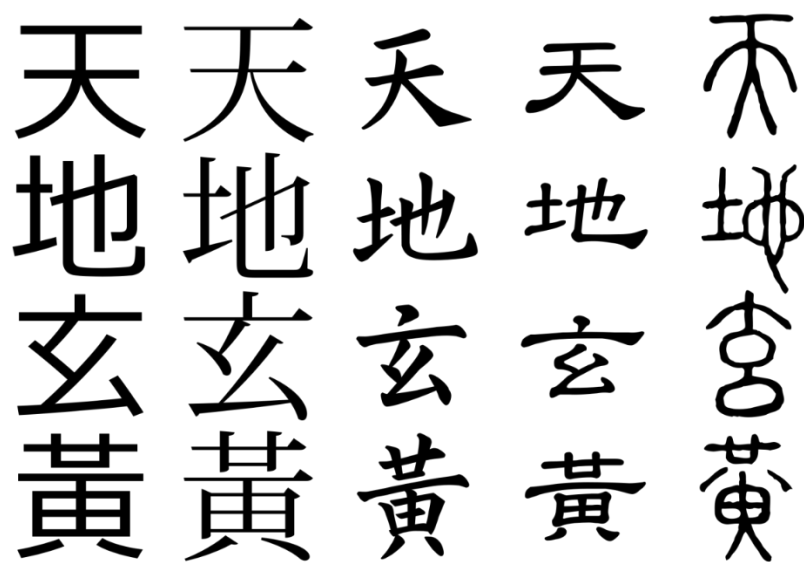
بسیار مهم است به خاطر داشته باشیم که **نظم و بی‌نظمی**، یک مفهوم ذهنی و قراردادی است و به شدت به ناظر بستگی دارد. فیلسوفان اسکولاستیک مسیحی، طی چند قرن بخشی از استدلال‌های نظام هستی‌شناسی خود را بر پایه‌ی مفهوم **نظم** قرار داده بودند. هر اتفاقی که برای انسان شیرین و دوست‌داشتنی بود، نشانه‌ای از نظم تلقی می‌شد.

خورشید صبح از شرق طلوع می‌کرد و عصر در غرب غروب می‌کرد. گیاهان در فصل‌های خاص رشد می‌کردند و درختان در مقطع مشخصی از سال برگ می‌ریختند.

آب دریا با گرمای خورشید تبخیر می‌شد و سپس با کاهش دما دوباره در قالب قطره‌های باران از آسمان به زمین فرود می‌آمد. به نظر می‌آمد همه چیز به طرز شگفت‌انگیزی منظم است.

اما سوال مهمی که وجود دارد این است که چه کسی این نظم را تشخیص می‌دهد؟ معیار سنجش این نظم کجاست؟ آیا همین که ما فکر می‌کنیم هر چیزی سر جای خودش است، یعنی نظمی برقرار است؟ آیا ما اصلاً جای هر چیز را می‌دانیم؟

آیا این علامت‌هایی که در اینجا می‌بینیم نظمی دارند؟



این علامت‌ها به خودی خود، شکل‌هایی نامنظم هستند. برای من و شما - که احتمالاً چینی نمی‌دانیم - نظم خاصی ندارند. مخاطب است که می‌تواند وجود داشتن یا نداشتن نظم در آنها را تعریف کند.

نظم در ذات این‌ها نیست. در مخاطب است. احتمالاً مورچه‌ای که از روی این کاغذ عبور می‌کند، این‌ها را کاملاً بی‌نظم خواهد یافت.

اما قسمت ترسناک دیگری هم وجود دارد. به این علامت‌ها نگاه کنید:

誠信動恭
養安有之
神體妻崇

اینها را دیگر نه ما می‌فهمیم و نه چینی‌ها. چون هیچ معنایی ندارند. اما اگر من از شما بپرسم که اینها نظم دارند یا نه. احتمالاً خواهید گفت: بله. اینها نوشته هستند. نوشته‌هایی مربوط به آسیای جنوب شرق. چینی. ژاپنی. کره‌ای یا چیزی شبیه این.

شما حتی یک لحظه هم احتمال نمی‌دهید که من، بدون اینکه معنایی مد نظر داشته باشم، قلم در دست گرفته‌ام و اینها را نقاشی کرده‌ام (واقعاً همین است). چون قبلاً چیزی مشابه این را دیده‌اید و معنایی را به آن نسبت داده‌اید، این خط‌خطی‌های من را هم دارای نظم می‌بینید.

نظم، یک مفهوم کاملاً ذهنی است. اگر ما زمین را دارای نظم بزرگ می‌بینیم، ستارگان بی‌سکنه‌ای را که بی‌هیچ مخاطبی در دورترین نقاط هستی می‌سوزند چه باید بدانیم؟ آیا در مورد آنها دچار همین خطای خط چینی نشده‌ایم؟

آیا همین خطا نیست که وقتی می‌خواهیم در سیارات دیگر دنبال نشانه‌های حیات بگردیم، دنبال آب می‌گردیم؟ یعنی الگویی را که خود می‌شناسیم به آنها تحمیل می‌کنیم.

حرف من این نیست که غیر از معدود جاهایی مانند زمین و منظومه‌ی شمسی، در بخش عمده‌ای از عالم نظم‌ی وجود ندارد. حرفم این است که اصلاً در هیچ جای عالم، نظم به عنوان یک واقعیت عینی وجود ندارد. این شامل سیاره‌ی ما هم می‌شود.

نظم یک فرض شخصی است. کاملاً به سوابق ذهنی ما بازمی‌گردد. نظم بیشتر به مقوله‌ی زیبایی نزدیک است و زیبایی، به عادت، پهلوی می‌زند.

بیاید به یک سوال دیگر فکر کنیم. آیا این بافت گیاهی نظم دارد؟



نخستین پاسخی که به ذهن می‌رسد، احتمالاً این است که: بله. نظم دارد.

اما به سوال دوم فکر کنید: آیا اصلاً نظم گیاهان، از جنس نظم نظامی‌هاست که باید همه در یک ردیف ایستاده باشند و یک خط مستقیم بسازند؟ آیا ما به علت ترجیحات خودمان و از منظر خودمان این حالت را منظم نمی‌نامیم؟

آیا نمی‌توان گفت که این حالت، برای گیاهان کاملاً مصداق بی‌نظمی است؟

البته احتمالاً در اینجا بحث **نظم طبیعی** پیش خواهد آمد و مخاطب خواهد گفت که این نظم، مصنوعی است و نظم طبیعی چیز دیگری است. ما هم اگر گفتیم منظم است منظورمان نظم مصنوعی بود.

اما نظم طبیعی چیست؟ چه اتفاقی باید بیفتد تا من به نتیجه برسم که این سیستم نظم طبیعی دارد؟ یا نظم طبیعی آن مثلاً کمتر یا بیشتر شده؟

مسئله بسیار واضح است. **سیستم‌ها، نه منظم هستند و نه نامنظم**. این تعبیری است که ما به آنها نسبت می‌دهیم. هستی زبان خودش را دارد و هر جا کلمات و نشانه‌هایش با فهم ما جور درآمد، آن را منظم می‌دانیم و هر جا نفهمیدیم آن را نامنظم در نظر می‌گیریم.

چنین می‌شود که حاضر نیستیم زلزله را به اندازه‌ی طلوع خورشید، حاصل **نظم طبیعت** بدانیم. برایمان منطقی‌تر است بپذیریم که رفتار نادرستی در ما، این بی‌نظمی را ایجاد کرده تا اینکه بپذیریم زلزله، بخشی از نظم طبیعت است که ما نمی‌فهمیم.

درباره مفهوم تصادفی بودن

بحث تصادفی بودن^{۱۷۴} از جهات بسیاری با **نظم و بی‌نظمی** شباهت دارد.

اما به علت ماهیت ریاضی آن و نیز به این علت که در آینده باید به نظریه‌ی آشوب^{۱۷۵} هم بپردازیم، احساس کردم بهتر است زیر عنوانی مستقل، کمی بیشتر در موردش صحبت کنیم.

فکر می‌کنم تقریباً در تمام جهان، تصادفی بودن را با انداختن سکه می‌شناسند و یاد می‌گیرند. در شکل پیچیده‌تر، گاهی از سکه به تاس هم می‌رسند تا به جای دو وضعیت تصادفی، شش وضعیت تصادفی در اختیار داشته باشند. اجازه بدهید ما با همان سکه سرگرم باشیم. چون برای بحث‌مان در این مرحله کافی است.

قاعدتاً **سکه‌ی سالم** که به درد بازی می‌خورد، سکه‌ای است که وقتی آن را به هوا پرتاب می‌کنیم، **احتمال** افتادن آن از پشت و رو یکسان باشد. البته در عمل، زمانی می‌توانیم در مورد سالم بودن یک سکه قضاوت کنیم که آن را دفعات بسیار زیادی پرتاب کرده باشیم.

فرض کنید سکه‌ای به شما بدهند و از شما بپرسند به نظرتان سالم است یا نه. شما آن را پنج بار پرتاب می‌کنید و هر پنج بار به پشت بر زمین می‌افتد. آیا می‌توانید بگویید این سکه خراب است^{۱۷۶}؟ قاعدتاً نمی‌توانید بگویید. به خاطر اینکه یک سی و دوم (حدود ۳٪) احتمال دارد که یک سکه‌ی کاملاً سالم هم دقیقاً پنج مرتبه متوالی، از پشت بر زمین بیفتد.

البته احتمالاً شما در این حالت، برای بار ششم هم سکه را پرتاب می‌کنید. اگر این بار هم از پشت افتاد، باز هم نمی‌توانید به صورت **قطعی** بگویید سکه خراب است. فقط **احتمال خراب بودن سکه** افزایش یافته است. چون در مورد سکه‌ی درست هم، حدود ۱/۵٪ این احتمال وجود دارد که دقیقاً شش مرتبه‌ی متوالی از پشت بیفتد.

در کل، کسی که واقعاً **احتمالات** را بفهمد و باور داشته باشد، اگر صد بار سکه را پرتاب کند و هر صد بار هم سکه از پشت بیفتد، به صورت **قطعی** نمی‌گوید که این سکه خراب است. بلکه خواهد گفت: این سکه، به احتمال بسیار زیاد، خراب است.

^{۱۷۴} Randomness

^{۱۷۵} Chaos theory

^{۱۷۶} در انگلیسی از اصطلاح Fair Coin استفاده می‌شود. ما در احتمالات فارسی برای درست و خراب بودن سکه، از اصطلاح نأریب و أریب استفاده می‌کنیم.

اگر عمر عالم هستی را نامحدود یا بسیار زیاد فرض کنیم، بالاخره روزی کسی این تجربه را داشته یا خواهد داشت که یک سکه سالم را صد بار پرتاب کند و به خاطر اینکه هر صد بار، سکه از پشت افتاده، به اشتباه در این دام بیفتد که سکه خراب و تقلبی است.

در اینجا بولتزمن تعبیری دارد که من آن را بسیار دوست دارم. بولتزمن این تعبیر را به شکل‌های مختلف، بارها مطرح کرده و با قطعیت می‌توانم بگویم که یکی از دغدغه‌های ذهنی‌اش بوده است.

احتمالاً مثالی که در مورد سکه مطرح کردم، برای شما بسیار تئوری و غیرکاربردی به نظر می‌رسد. با خودتان می‌گویید این مثال‌ها فقط روی کاغذ معنا دارند. در دنیای واقعی اگر کسی ده بار سکه‌ای را انداخت و سکه هر ده بار از پشت (یا از رو) افتاد، قاعدتاً سکه‌ی دیگری را برای بازی انتخاب می‌کند.

حرف شما را می‌فهمم. ضمن اینکه اگر خودتان گرفتار چنین سکه‌ای شوید، یک یا دو یا ده بار بیشتر آن را پرتاب می‌کنید و بالاخره با اطمینان بالایی در مورد مناسب یا نامناسب بودنش تصمیم می‌گیرید.

اما اجازه دهید سوال را به شکل دیگری بپرسم:

فرض کنید در بالکن خانه نشسته‌اید.

یک نفر سکه‌ای را پیش چشمان شما ده مرتبه پرتاب می‌کند و هر ده دفعه، سکه دقیقاً از یک سمت بر زمین می‌افتد. می‌خواهید سکه را برای یازدهمین بار پرتاب کنید که اشتهاً از بالکن پایین می‌افتد و دیگر آن را پیدا نمی‌کنید.

بنابراین، هرگز فرصت آزمایش یازدهم و دوازدهم را با آن ندارید و عملاً سکه را از دست داده‌اید.

آیا هنوز می‌توانید به صورت قطعی بگویید که این سکه، یک سکه‌ی نادرست بوده است؟

از نظر علم احتمال، شما هرگز نمی‌توانید چنین قضاوتی داشته باشید. حتی اگر الان می‌گویید که می‌شود چنین قضاوتی داشت، من سوال را کمی سخت‌تر می‌کنم.

می‌خواهند بگردند و سکه را پیدا کنند. اما گفته‌اند اگر سکه پیدا شد و آزمایش کردند و معلوم شد که سکه‌ی درست و سالمی بوده، شما را اعدام خواهند کرد (گرفتار یک پادشاه هستید که به ریاضیات علاقه‌مند بوده اما اخیراً از نظر روانی بیمار شده است). آیا هنوز حاضرید در مورد ناسالم بودن سکه نظر قطعی بدهید؟^{۱۷۷}

^{۱۷۷} بولتزمن می‌گوید سکه‌ی عالم هستی، صرفاً یک بار افتاده است (بعداً توضیح بدهم که بولتزمن می‌گفت ما Universe داریم. اگر Multiverse داشتیم می‌شد چنین قضاوت‌ها و تحلیل‌هایی را مطرح کرد).

ممکن است هنوز هم با این بحث راحت نباشید و احساس کنید که چنین ماجراهایی خسته‌کننده و تئوریک هستند.

اجازه بدهید خاطره‌ای از یک کارگاه آموزشی تعریف کنم که در آنجا خودم، **مفهوم تصادفی بودن** را با تمام وجود یاد گرفتم. هم به بحث سکه مربوط است و هم کمک می‌کند تا حدی بحث **نظم و بی‌نظمی** را مرور کنیم.

در یک کارگاه آموزشی حدود بیست نفر بودیم. معلم به هر یک از ما چند برگ کاغذ سفید جدول‌بندی شده داد و از ما خواست تا برای روز دوم کارگاه، یک تکلیف انجام دهیم.

باید یک سکه نو را – که به ما می‌داد – هزار مرتبه پرتاب می‌کردیم و هر بار می‌نوشتیم که سکه از رو افتاد یا از پشت. روی برگه‌ها هم از یک تا هزار شماره‌گذاری شده بود تا مقابل هر عدد، نتیجه را بنویسیم.

فکر می‌کنم صد یا صد و پنجاه بار این کار را انجام دادم. بعد احساس کردم که چنین کاری منطقی نیست. سکه را کنار گذاشتم و جدول را به صورت **تصادفی** پر کردم. باید H (رو) و T (پشت) می‌گذاشتم. سعی کردم تا حد امکان ترکیبی تصادفی درست شود: HHTHTHTTTT. همه چیز کامل شد و فردا تکلیف را تحویل دادم.

کارگاه یک تنفس نیم‌ساعته داشت و وقتی برگشتیم، اسم ۱۲ نفر ما (شامل من) روی اسلاید بود. کسانی که تقلب کرده بودند. به همه چیز فکر کردم: حتی به رنگ نوشتن و میزان فشار دادن خودکار.

اما حرف معلم بسیار ساده بود. در **پنج بار متوالی** که سکه را پرتاب می‌کنیم، احتمال HHHHH یا TTTTT حدود ۶ درصد است. اما در کل لیست من، حتی یک بار TTTTT یا HHHHH نبود. واقعیت این است که من مراقب بودم تعداد Hها و Tها تقریباً برابر باشد (۴۹۹ بار H و ۵۰۱ بار T را استفاده کرده بودم). اما احساس کرده بودم چند T یا چند H پشت هم غیرطبیعی است.

یادم هست که از همین بحث‌های ریاضی مطرح کردم و به استاد گفتم که به هر حال، این احتمال وجود دارد که هزار بار سکه پرت کنیم و هرگز پنج بار متوالی یک‌جور زمین نیفتد.

استاد هم با لبخند گوش داد و پرسید، احتمال اینکه در یک کارگاه بیست نفری، این اتفاق برای ۱۲ نفر بیفتد چقدر است؟ سکوت کردم و درس ادامه پیدا کرد.

اما آن روز **تعریف تصادفی بودن** که استاد گفت بسیار خوب در ذهنم ثبت شد و خصوصاً فهمیدم که **تصادفی بودن** را با **احتمال** اشتباه نگیرم (بگذریم از اینکه تازه **احتمال** را هم با **نظم و بی‌نظمی** اشتباه گرفته بودم).

او گفت: اینکه سکه‌ی شما به تعداد برابر از پشت یا رو بیفتد، اینکه توزیع یک پدیده نرمال باشد یا نباشد، به تصادفی بودن یا نبودن ربط ندارد. این هم که ظاهر یک مجموعه منظم باشد یا نباشد، صرفاً به قضاوت شما بستگی دارد.

تصادفی بودن یک تعریف کاملاً عینی^{۱۷۸} دارد: وقتی در یک سلسله رویداد متوالی، دانستن آنچه در لحظات گذشته روی داده، به شما در پیش‌بینی دقیق رویدادی که دقیقاً در گام بعدی روی خواهد داد کمک نکند.

فرض کنیم الان می‌خواهیم سکه‌ای را پرتاب کنیم. به شما می‌گویند که ده دفعه‌ی قبل سکه به ترتیب به صورت H T T T H H H T T H بر زمین افتاده است. آیا می‌توانید بگویید این بار از کدام سمت بر زمین خواهد افتاد؟

در بهترین حالت، شما می‌توانید بگویید که اگر سکه را صد بار بیاندازی، حدس می‌زنم تعداد دفعاتی که از رو می‌افتد حدوداً ۵۰ مرتبه و تعداد دفعاتی که از پشت می‌افتد هم در همین حدود باشد. البته ممکن است کمی بالا و پایین شود. به عبارتی، پرتاب سکه باید به دفعات بسیار زیاد تکرار شود تا بتوانیم کمی در مورد توزیع اتفاقات آن، اظهار نظر کنیم. اما در مورد یک مرتبه پرتاب سکه می‌توانیم اظهار نظر قطعی کنیم؟

البته همین تعریف هم اما و اگرهای متعددی دارد که بعداً به آن خواهیم پرداخت. اما مهم‌ترین چالش آن این است که آیا این گزاره (پیش‌بینی پذیر بودن گام بعدی بر اساس رویدادهای قبلی) به صورت ریاضی و علمی هم قابل سنجش است؟ به عبارتی، به فرض که به عنوان یک تعریف، آن را بپذیریم. اما آیا می‌توانیم در عمل هم آن را بسنجیم و از آن استفاده کنیم؟

البته این تعریف هم اما و اگرهایی دارد که بعداً به آنها خواهیم پرداخت. اما یک نکته‌ی مهم در مورد آن وجود دارد که به بحث ما و بولتزمن مربوط می‌شود و باید در اینجا در موردش صحبت کنیم.

تصادفی بودن یک مدل است

آیا قواعد حاکم بر پرتاب سکه، با قواعدی که بر حرکت ستاره‌ها و سیارات و پرتاب ماهواره‌ها حاکم است تفاوتی دارد؟ به نظر نمی‌رسد تفاوتی وجود داشته باشد.

آیا اگر ما دقیقاً وزن و ابعاد و توزیع جرم سکه را بدانیم و بتوانیم مقاومت هوا را اندازه بگیریم و محاسبه کنیم و موقعیت دقیق سکه را هم کنترل کنیم، نمی‌توانیم محاسبه کنیم که سکه چگونه بر روی زمین خواهد افتاد؟ پاسخ این سوال مثبت است. می‌توان پیش‌بینی کرد. محاسبات انداختن سکه بر روی زمین قطعاً از محاسبه‌ی پرت کردن و انداختن کاوش‌گر

^{۱۷۸} Objective

کاسینی بر روی زحل ساده‌تر است. اگر این کار را نمی‌کنیم صرفاً به این علت که چنین محاسبه‌ای فایده‌ای ندارد و هزینه کردن برای چنین محاسبه‌ای، قابل دفاع نخواهد بود.

حالا به سوال دیگری فکر کنیم: آیا اگر یک سکه واقعاً به شکل درست و دقیق تولید شده باشد، آیا می‌توانیم از انداختن سکه برای به دست آوردن نتایج تصادفی استفاده کنیم؟ به عبارتی، من یک سری هزارتایی از یک رویداد دوحالتی (H/T) می‌خواهم که هر رویداد آن، مستقل از گذشته‌ی سری باشد^{۱۷۹}. آیا پرتاب سکه روش خوبی برای تولید این سری هزارتایی است؟

فکر می‌کنم اکثر کسانی که این نوشته را می‌خوانند قبول دارند که پاسخ این سوال مثبت است و چنین روشی، قابل اتکاست.

در اینجا چه اتفاقی افتاده؟ ما در وضعیت خُرد (سطح مولکول‌های سکه و جریان هوا و دست ما که سکه را پرت می‌کند و زمین که سکه روی آن می‌افتد) با یک پدیده‌ی کاملاً مکانیکی و جبری روبرو هستیم^{۱۸۰}. اما در وضعیت کلان، یعنی زمانی که یک رشته از H و T داریم، با زنجیره‌ی تصادفی مواجه هستیم. یعنی هر پرتاب، کاملاً از پرتاب‌های قبل مستقل است^{۱۸۱}.

بولتزمن، عکس این کار را در مورد گازها انجام داد. او در وضعیت کلان، کاملاً گاز را مکانیکی و جبری می‌دید. فشار، دما و حجم، با قطعیت قابل اندازه‌گیری و کنترل بودند. نشانه‌ی این قطعیت هم اینکه ما قبل از اینکه ساختار مولکولی گازها را بشناسیم، بخار را در سیستم‌های مکانیکی خود به خدمت گرفته بودیم.

اما در وضع خرد، بولتزمن فرض کرد که ذرات گلوله‌ای کوچکی (همان مولکول‌ها) وجود دارند که به صورت تصادفی حرکت می‌کنند. به عبارتی تصادفی بودن یا Randomness را در وضع خُرد پذیرفت تا در وضع کلان، بتواند خروجی کاملاً مکانیکی و قابل پیش‌بینی از آنها بگیرد.

^{۱۷۹} ترجیح می‌دهم فعلاً در اینجا از واژه‌ی Stochastic استفاده نکنم. اگر چه می‌تواند واژه‌ی دقیق‌تری باشد.

^{۱۸۰} در اینجا Deterministic می‌تواند تعبیر درست و دقیق‌تری باشد. نمی‌دانم بعداً جایگزین خواهم کرد یا نه.

^{۱۸۱} اصطلاحاً می‌گویند باید Process Randomness را از Product Randomness تفکیک کرد. اینکه فرایند، تصادفی هست یا نه و اینکه، نتیجه‌ی فرایند تصادفی هست یا نه، دو بحث مستقل هستند که عموماً آنها را با یکدیگر اشتباه می‌گیرند یا به عنوان یک پدیده‌ی واحد، مورد بحث قرار می‌دهند.

البته ممکن است خواننده بگوید که جای هر مولکول را هم می‌شود دانست (حداقل به صورت تئوری). سرعت آنها را هم می‌شود دانست. پس این فرض که در **وضع خرد**، ما با یک سیستم تصادفی مواجه هستیم نادرست است. در آن لایه هم همه چیز کاملاً مکانیکی و **Deterministic** و قابل پیش‌بینی است. این حرف هم نادرست نیست.

جواب درست این است که: **تصادفی بودن یا تصادفی نبودن یک مدل** است. این ویژگی در واقعیت سیستم نیست. اتفاقاً در بسیاری از موارد، هر دو مدل می‌توانند نتیجه‌های درستی داشته باشند.

مهم این است که بولتزمن در یک لایه، رفتار **مکانیکی** می‌دید و برای پیش‌بینی آن، **مناسب دید** در لایه‌ی دیگر، توزیع حرکت در سیستم را **تصادفی** فرض کند. مثل هر مدل‌سازی دیگری، اینجا هم دغدغه‌ی مفید بودن وجود دارد و نه درست بودن.

این نگاهی است که در آینده در تحلیل سیستم‌های پیچیده و به طور خاص **سوارم**^{۱۸۲}‌ها به آن خواهیم پرداخت. اینکه گاوها و زنبورها و موریانه‌ها و انسان‌ها، به جبر کاری را انجام می‌دهند یا اختیار، یک **فرض** است. وقتی برای کل جامعه، برای کل گله‌ی گاوها، برای کل زنبورها و موریانه‌ها، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری می‌کنیم، سوال درست این است که **کدام فرض** به تحلیل سیستم بیشتر کمک خواهد کرد. در عالم واقع، این سوال پاسخی ندارد^{۱۸۳}.

^{۱۸۲} Swarms

^{۱۸۳} ندارد به این معنا نیست که پاسخ را نمی‌دانیم. پاسخ واقعاً وجود ندارد. چون اصل سوال نادرست و بی‌معنا است. ما چیزی به نام استقلال از رویدادهای قبلی را تعریف کرده‌ایم که عملاً با تعریف ناظر، قابل تعریف و سنجش است. بنابراین، چنین استقلالی در ذات سیستم وجود ندارد. در نگاه ناظر است. به همین علت، شاید در مسیر تاریخ، طرفداران هر دو نگرش، همواره برای اثبات نگاه خود، شواهد بسیار داشته‌اند و نتوانسته‌اند بر یکدیگر پیروز شوند. چون بحث، یک **دیدگاه** است و **دیدگاه**، به ذات خود بر اساس **نقطه‌ی دیدن** و **ویژگی‌های بیننده** معنا پیدا می‌کند. امروز، اگر چه نگاه غالب در کوانتوم بر این است که در پایین‌ترین سطح، می‌توان تصادفی بودن واقعی را تجربه کرد. اما به نظر می‌رسد که همواره باید به خاطر داشته باشیم که در آنجا هم با یک مدل مواجه هستیم.

انتروپي – فصل مشترک جهان ماقبل اتمی با جهان بعد از کشف اتم

این بحث و این نوع بحث‌ها، چیزهایی بود که در ذهن بولتزمن می‌گذشت.

معمولاً هم سخنرانی‌هایش با گازها شروع می‌شد و با بحث‌های نامربوط دیگر به پایان می‌رسید. وگرنه قابل تصور نیست که چرا باید سخنرانی در مورد نظریه گازها، با توزیع بولتزمن – ماکسول شروع شود و در همان جلسه، با بحث درباره تکامل طبیعی داروین به پایان برسد.

بولتزمن، جهان را نه منظم می‌دید و نه نامنظم. او معتقد بود که انسان، فهم خودش را بر جهان تحمیل کرده است. به همین علت، می‌کوشید با شاخص‌هایی عینی‌تر جهان را اندازه بگیرد و ببیند و بسنجد. انتروپي یکی از همین معیارها بود.

تا اینجا برای من مهم است که دو نکته را به خاطر بسپاریم. یکی اینکه از واژه‌ی نظم، در بحث پیچیدگی استفاده نکنیم و اگر هم لازم شد استفاده کنیم، به خاطر داشته باشیم که نظم، صرفاً به معنای الگوهای آشنا است و منطقی‌تر است که بگوییم منظورمان از نظم، نظم در نگاه چه کسی است.

دوم اینکه به یک نکته‌ی مهم توجه داشته باشیم. مفهوم انتروپي، جهان ماقبل اتمی را به جهان مابعد اتمی متصل می‌کند.

زمانی که کلاوزیوس و کلوین، از انتروپي حرف می‌زدند و آن را محاسبه می‌کردند، همه چیز برای آنها در وضعیت کلان یا مقیاس بزرگ وجود داشت. آنها گرما را اندازه می‌گرفتند. دما را می‌سنجیدند. زمان را می‌فهمیدند. جرم را کنترل می‌کردند و در یک کلام، موضوع آزمایش و ابزار آزمایش و آزمایش‌گر، همگی کمابیش در یک مقیاس بودند.

بولتزمن، فرض دیگری را به جهان فیزیک افزود. آن فرض این بود که ماده (به طور خاص، گاز) از ذرات بسیار کوچک‌تری تشکیل شده که ما آنها را نمی‌بینیم.

او مقیاس محاسبه را در سطح اتم‌ها و مولکول‌ها برد. اگر چه او بین اتم و مولکول، تفاوت چندانی قائل نمی‌شد. همه چیز را به صورت توپ‌های الاستیک کوچکی می‌دید که بر اساس قوانین نیوتون حرکت می‌کنند و به هم برخورد می‌کنند و ما بی‌آنکه حرکت و برخورد آنها را ببینیم، اثر این حرکت‌ها و برخوردها را می‌بینیم.

بولتزمن، با این نگاه جدید، توانست انتروپي را در مقیاس اتمی تعریف کند.

انسان در حالی از قرن نوزده به قرن بیست وارد شد که ترمودینامیک ماقبل اتمی، ظهور مکانیک اتمی را می‌دید و آنچه این دو دنیای مستقل را با هم آشتی می‌داد، تعریف انتروپي بولتزمن بود.

رفتار کندذهن‌ها هم، اگر به شکل درستی در کنار یکدیگر قرار بگیرند، می‌توانند نتایجی هوشمندانه به بار بیاورند.

کوین کلی

ملت‌ها؟ ملت یعنی چه؟ منظورت چیست؟ انسان‌ها فقط مثل حشره کنار هم هستند. این تاریخ‌نویسان هستند که به گروه‌های انسانی نام می‌دهند و آن‌ها را ماندگار می‌کنند.

هنری دیوید ثورو

درباره یک لحظه‌ی کلیدی

هر زمان از اصطلاح **لحظه‌ی کلیدی** استفاده می‌کنم، زنگی در مغزم به صدا درمی‌آید که این واژه می‌تواند غلط‌انداز باشد. به خوبی می‌دانم و می‌فهمم که هیچ لحظه‌ای کلیدی نیست. لحظه‌ها فقط یکی پس از دیگری می‌آیند و می‌روند و هر یک مانند آجری بر جای خود می‌نشینند تا لحظه‌ی بعدی بر روی آن بنا شود.

البته انسان‌ها لحظه‌های کلیدی را دوست دارند. بسیاری از آنها تولد خود را جشن می‌گیرند و آن را لحظه‌ای کلیدی می‌دانند. حتی کم نیستند کسانی که بر اساس ماه تولد، ویژگی‌های مثبت و منفی رفتاری و شخصیتی خود را توجیه می‌کنند.

قبلاً جایی نوشته بودم که لحظه‌ی تولد، بیش از آنکه اطلاعاتی در مورد شما به دست دهد، اطلاعاتی در مورد والدین‌تان به دست می‌دهد. شاید اگر انسان‌ها قرار بود لحظه‌ای کلیدی داشته باشند و جشن بگیرند، باید به لحظه‌ای که نطفه‌شان شکل گرفت فکر می‌کردند.

اما در همین جا هم، اگر کمی دقیق‌تر فکر کنیم، با کمی فاصله از سیستم به آن نگاه کنیم، می‌بینیم که لحظه‌ی شکل‌گیری نطفه هم، به اندازه‌ی لحظه‌ی تولد، **غیرکلیدی** است. هزار اتفاق ریز و درشت، از دیر رسیدن یک تاکسی تا بوق بی‌موقع یک قطار، می‌توانست سرنوشت ما را به شکل دیگری رقم بزند.

شاید کمی تلخ به نظر برسد. اما هیچ لحظه‌ای کلیدی نیست. نه برای ناظر بیرونی، که حتی برای خود ما. آنچه ما لحظه‌ی سرنوشت‌ساز می‌نامیم، خود بر دوش لحظه‌ی دیگری نشسته است و آن لحظه نیز خود، بر لحظه‌ی دیگری تکیه کرده است.

با این حال، شاید هنوز حق داشته باشیم از اصطلاح **لحظه‌ی کلیدی** استفاده کنیم. به شرطی که در دل خود بدانیم منظورمان صرفاً لحظه‌ای است که در یاد مانده است. چنانکه ثبت یک عکس، لحظه‌ای را از لحظه‌های قبل و بعد از آن، متمایز

می‌کند (البته در ذهن دوربین ما و نه در جهان خارج) و یک سکانس از یک فیلم، به بخشی از خاطرات سینمایی ما تبدیل می‌شود. گاه بعداً فیلم‌نامه به کلی فراموش می‌شود، اما آن سکانس یا آن دیالوگ، در ذهن مان ماندگار می‌شود.

این حرف‌ها را به دو منظور مطرح کردم. یکی برای اینکه ذهن مان برای بحث پیوستگی و گسستگی در سیستم‌ها - که باید در فصل‌های آتی مطرح کنم - آماده شود و دیگر اینکه به خودم مجوز بدهم در ادامه‌ی این نوشته، از اصطلاح **لحظه‌ی کلیدی** استفاده کنم (و البته مطمئن باشم که بعداً به درک غیرسیستمی از رویدادها متهم نخواهم شد).

خواننده‌ای که سال‌های نخستین دهه‌ی هشتاد شمسی را تجربه نکرده است، شاید به سادگی نتواند تصویری را که اکنون ترسیم می‌کنم تصور کند.

آن سال‌ها، اینترنت فراگیر نبود. دسترسی به اینترنت بسیار محدود بود و دانلود در حجم بالا هم (منظورم از حجم بالا چند مگابایت است) عملاً فرصتی کم‌یاب بود. یکی از روش‌های دستیابی به منابع دیجیتال، دستفروش‌هایی بودند که در میدان‌های اصلی شهر - از جمله میدان انقلاب تهران - CDهایی را تحت عنوان **کتابخانه دیجیتال** می‌فروختند.

چند هزار فایل PDF از کتاب‌های مختلف - عموماً حوزه‌ی کامپیوتر و گه‌گاه حوزه‌های دیگر - روی یک CD بود و دستفروش فریاد می‌زد که یک کتابخانه را یک جا در یک سی دی بخرید و ببرید. اگر کمی بالای بساطشان می‌ایستادی، معمولاً می‌شنیدی که می‌گفتند اگر سی دی غیراخلاقی هم می‌خواهی دارم.

در نخستین سال‌های ورود به بازار کار - پس از پایان دوران کارشناسی - کنار یکی از این بساط‌ها ایستاده بودم که یک **کتابخانه دیجیتال از همه‌ی علوم** نظرم را جلب کرد. روی آن نوشته بود: از کامپیوتر تا زیست‌شناسی. انواع زبان‌های برنامه‌نویسی. آموزش نرم‌افزارهای روز.

آن کتابخانه‌ی دیجیتال را خریدم و در میان کتابهایش - غیر از عناوین مربوط به برنامه‌نویسی و الکترونیک که همیشه برایم جذاب بوده و هست - یک کتاب متفاوت دیدم. عنوان آن چنین بود: ^{۱۸۴}Swarm Intelligence.

ایستادن بر بساط آن دستفروش را شاید بتوانم یکی از لحظه‌های کلیدی زندگی‌ام بنامم. اگر چه در واقع، باید دنبال لحظه‌هایی باشم که در نهایت باعث شدند هنگام دیدن آن بساط، کنارش بایستم و محصولات آن دستفروش را بررسی کنم.

^{۱۸۴} Eberhart, R. C., Shi, Y., & Kennedy, J. F. (2001). Swarm intelligence c: y Russell C. Eberhart, Yuhui Shi, James Kennedy. Morgan Kaufmann.

اما حیفم می‌آید تاکید نکنم که خریدن آن CD و خواندن آن کتاب در روزهای پس از آن، جزو لحظه‌هایی است که در مرور سال‌های گذشته، بیش از بسیاری از لحظات کم‌اهمیت دیگر - مثل روز اعلام نتایج دانشگاه - با به خاطر آوردنش، لبخند بر لبانم می‌نشیند.

می‌دانم که اگر واژه‌ی سوارم (Swarm) را در آن سال نخوانده و ندیده بودم، احتمالاً اکنون زندگی کاملاً متفاوتی را - در مقایسه با آنچه اکنون دارم - تجربه می‌کردم. همه‌ی این مقدمه را گفتم تا وارد تعریف واژه‌ی Swarm شوم.

درباره واژه‌ی Swarm

قبل از هر چیز باید تکلیف خودمان را با واژه‌ی Swarm مشخص کنیم. با توجه به اینکه در فارسی، ما در مورد گروه‌های جانداران، با محدودیت جدی واژه مواجه هستیم، تصمیم دارم به جای Swarm Intelligence از اصطلاح هوش گروهی استفاده کنم.^{۱۸۵} در فصل‌های آتی که هوش و خرد، بار معنایی مثبت‌شان را نزد شما از دست دادند، احتمالاً با خیال آسوده‌تر از واژه‌ی خرد جمعی هم استفاده خواهیم کرد.^{۱۸۶}

زندگی جمعی حشراتی مانند مورچه‌ها، موریانه‌ها و زنبورها، قرن‌هاست که برای انسان‌ها جذاب بوده است.

^{۱۸۵} از انتخاب این معادل، راضی نیستم. اما به نظرم، مفهوم را تا حد خوبی منتقل می‌کند. در زبان انگلیسی، هر گروهی از حیوانات که در کنار هم قرار می‌گیرند، نام متفاوتی پیدا می‌کنند. مثلاً شیرها (Lions) وقتی در کنار هم قرار می‌گیرند با اصطلاح Pride of lions مورد اشاره قرار می‌گیرند. در مورد ماهی‌ها از اصطلاح School استفاده می‌شود (School of fishes). در مورد پرندگان، Flock هم رایج است. برای مارها، از اصطلاح Quiver هم استفاده می‌شود (A quiver of cobras). برای الاغ و گاو و حیوانات مشابه، اصطلاح Herd و در مورد مورچه‌ها از Colony و Swarm استفاده می‌شود. در مورد زنبورها هم، اصطلاح Swarm به کار می‌رود. شترمرغ‌ها، کانگروها و بعضاً گاوها، اصطلاح Mob هم رواج دارد. تا جایی که می‌دانم ما بیشتر از گله‌ی حیوانات و گروه حیوانات یا گروه حشرات استفاده می‌کنیم. فقط باید یادمان باشد که در ادبیات پیچیدگی، معمولاً Swarm وقتی به کار می‌رود که اجزای سیستم، هوشمندی و اختیار کمی داشته باشند (مثل مورچه / زنبور) و وقتی اجزای سیستم هوشمندی و اختیار بیشتری دارند (مثل گاوها) از اصطلاح Mob یا Herd استفاده می‌شود.

به همین علت، در مورد انسان‌ها هم از اصطلاح Mob و Herd بیشتر استفاده می‌شود. من در فارسی برای آسایش مخاطب، در هر دو مورد از اصطلاح گروه انسان‌ها و گروه حشرات استفاده می‌کنم. اما شما در مورد انسان همواره گله‌ی انسان بخوانید تا دقت علمی‌مان بیشتر باشد.

^{۱۸۶} البته دیده‌ام که در مقاله‌های فارسی از اصطلاح هوش ازدحامی هم استفاده شده است. اما به نظرم در این ترجمه، سلیقه‌ی چندانی به کار گرفته نشده است. ازدحام در فارسی دارای بار معنایی منفی است. در حالی که Swarm کاملاً خنثی است. حتی اگر قرار بود به سراغ چنین واژه‌هایی برویم، احتمالاً تجمع واژه‌ی مناسب‌تری بود. چون معنای آن به ازدحام نزدیک است و بار معنایی آن هم چندان منفی نیست. البته این تعبیر هم همچنان گمراه‌کننده است. چون ما دقیقاً در Swarm با یک هوش توزیع شده مواجه هستیم که هیچ مرکزیتی ندارد. به هر حال، من همچنان از هوش گروهی استفاده می‌کنم و لااقل در لحظه‌ی نگارش این جملات، آن را تعبیر مناسب‌تری می‌دانم.

تقسیم کار بین موریه‌ها، مکانیزم یافتن غذا و جابجایی آن توسط مورچه‌ها و ارتباط برقرار کردن زنبورها با یکدیگر برای رفتن به محل جدید، چنان برای انسان‌ها جذاب بود که حتی عده‌ای فکر می‌کردند این حشرات، از مکانیزم‌های ارتباطی و رای مکانیزم‌های متعارف برای برقراری تماس با یکدیگر استفاده می‌کنند.

معمولاً در فرهنگ‌های کهن هم، نسبت به این حشراتی که به صورت گروهی زندگی می‌کنند، به علت همین ویژگی که شاید بتوان آن را **هوش جمعی** نامید - احترام و توجه خاصی وجود داشته است.

اگر می‌خواهید عمق شگفت‌زدگی انسان در برابر زندگی جمعی حشرات را - که به توسعه‌ی باورهای فرافیزیکی در مورد حشرات هم کمک کرد - درک کنید، کافی است کارهای مارتین لیندائر^{۱۸۷} را بررسی کنید.

این حشره‌شناس که سال‌ها روی زنبورها و مکانیزم‌های ارتباط آنها و معنای رقص زنبورها و پیام‌های ارتباطی میان آنها کار کرد، زیربنایی را ساخت که بعدها برای مطالعات بیشتر در مورد رفتارهای گروهی حشرات، مورد استفاده و استناد قرار گرفت.

بررسی کارها و مطالعات لیندائر نشان می‌دهد که رفتار گروهی زنبورها، حداقل تا دهه‌ی پنجاه میلادی هنوز برای ما بسیار رازآلود بوده است^{۱۸۸}.

به عبارت دیگر، جمله‌ای که از کوین کلی در ابتدای این فصل نقل کردم (تقریباً با این مضمون که موجودات کودن و خنگ در کنار یکدیگر می‌توانند گروهی هوشمند را بسازند)، برخلاف آنچه برای یک مخاطب عام، صرفاً در حد جمله‌ای ادبی به نظر می‌رسد، واقعیتی علمی است که درک آن برای ما صرفاً طی سه دهه‌ی اخیر امکان‌پذیر شده است.

کلمه‌ی **Swarm** در خارج از فضای حشرات، به عنوان الگو گرفتن از شیوه‌ی زندگی و تصمیم‌گیری حشرات در حوزه‌ی تکنولوژی و نیز فعالیت‌های انسانی، نخستین بار توسط کریستوفر لنگتون مورد استفاده قرار گرفت^{۱۸۹}.

^{۱۸۷} Martin Lindauer

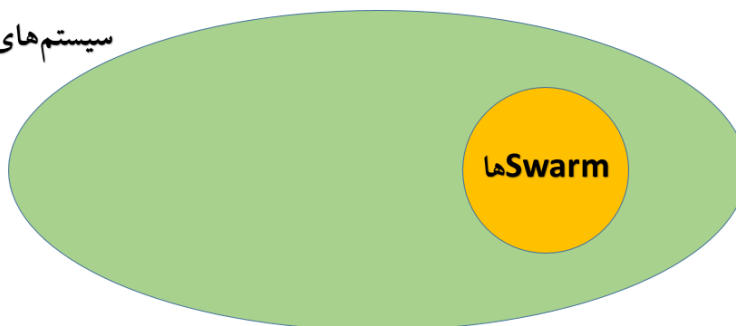
^{۱۸۸} کتاب یوجین ماری با عنوان روح مورچه‌های سفید - که بعداً توسط موریس مترلینگ هم سرقت شد و با عنوان زندگی موریه‌ها منتشر شد - نشان می‌دهد که از نخستین سال‌هایی که انسان، پیچیدگی زندگی اجتماعی برخی حشرات را مورد توجه قرار داد و کوشید اسرار زندگی و مکانیزم سازمان‌دهی آنها را کشف کند، شاید هنوز یک قرن نگذشته باشد.

^{۱۸۹} Christopher Langton

نام لنگتون را از لحاظ بزرگی در ادبیات هوش مصنوعی و درک علمی مفهوم هوش و زندگی، باید در کنار نام‌های بزرگی مانند آلن تورینگ^{۱۹۰} و جان فون نویمان^{۱۹۱} قرار داد. اگر چه متأسفانه به اندازه‌ی آنها شناخته شده نیست^{۱۹۲}.

بحث در مورد Swarm را می‌توان زیرمجموعه‌ای از پیچیدگی و سیستم‌های پیچیده دانست.

سیستم‌های پیچیده



در سیستم‌های پیچیده، الزامی وجود ندارد که هر یک از المان‌ها، از اختیار و انتخاب و قواعد تصمیم‌گیری بهره‌مند باشند. اما وقتی از هوش جمعی و هوش گروهی و سوارم حرف می‌زنیم، تلویحاً این فرض را پذیرفته‌ایم که هر یک از المان‌های سیستم، به نوعی از هوش یا انتخاب یا قدرت تصمیم‌گیری برخوردار هستند^{۱۹۳}.

بنابراین، مثلاً بحث در مورد گازها اگر چه زیرمجموعه‌ی بحث سیستم‌های پیچیده است، اما در بحث هوش گروهی مطرح نمی‌شود. اما بر خلاف گازها، بحث در مورد گاوها (و البته پرندگان، انسان‌ها، بورس، جنبش‌های اجتماعی و موارد مشابه) همگی زیرمجموعه‌ی بحث هوش گروهی یا Swarm Intelligence محسوب می‌شوند.

^{۱۹۰} Alan Turing

^{۱۹۱} John von Neumann

^{۱۹۲} لنگتون از جمله بنیان‌گذاران حوزه‌ی Artificial Life است. تحلیل، شبیه‌سازی و تولید آزمایشگاهی زندگی، از جمله حوزه‌های مورد علاقه‌ی او بود و فعالیت‌های بسیار ارزشمندی هم در این زمینه انجام داد. او مدتی نسبتاً طولانی هم در مرکز سنتا فی (Santa Fe) به فعالیت تحقیقاتی خود ادامه داد و قبل از اینکه وارد هزاره‌ی جدید شویم، آنجا را ترک کرد. لنگتون فوت نکرده، اما هیچ اطلاع خاصی از او در دسترس نیست و در سکوت زندگی می‌کند. در لحظه‌ای که این مطلب را می‌نویسم به تدریج به هفتاد سالگی نزدیک می‌شود. در ادامه‌ی این کتاب، نمونه‌های مشابه دیگری هم خواهیم دید. به هر حال، با وجودی که لنگتون ظاهراً در انتشار تحقیقات و مطالعات خود با محدودیت روبروست، حتی مقالات و کتاب‌های او (که آخرین نمونه‌ی آنها مربوط به سال ۱۹۹۵ است و توسط انتشارات دانشگاه MIT منتشر شده) هنوز کاملاً خواندنی هستند و حرف‌های بسیاری هست که جز در کتاب‌های او، نمی‌توان به آن عمق و زیبایی آنها را در جای دیگری پیدا کرد. خصوصاً اصطلاح Edge of Chaos (لبه‌ی آشوب) یکی از بحث‌های اوست و می‌تواند الهام‌بخش باشد.

^{۱۹۳} حتماً به این نکته توجه داریم که مفاهیم انتخاب، هوش و قدرت تصمیم‌گیری، درست مانند مفاهیم جبر، زندگی، مرگ و سایر مفاهیم مشابه، صرفاً نسبت به یک ناظر مشخص تعریف می‌شوند و ممکن است با تغییر ناظر، مفهوم و میزان و شکل آنها، کاملاً تغییر کند.

درباره حشرات و موجودات اجتماعی

اگر به جانورشناسان و به طور خاص حشره‌شناسان مراجعه کنید، خواهید دید که تقسیم‌بندی‌های بسیار دقیقی از رفتارهای اجتماعی حشرات وجود دارد و اهل علم، تلاش و مجاهدت بسیاری به خرج داده‌اند تا دریچه‌ی ذهن ما را به جهان حشرات بکشایند. دستاوردهای این تلاش هم کوچک نبوده است. چنانکه گریمالدی معتقد است که یکی از پیچیده‌ترین زندگی‌های اجتماعی که ما کشف کرده‌ایم به حشرات تعلق دارد^{۱۹۴}.

سطوح مختلفی برای زندگی اجتماعی در حشرات تعریف می‌شود که از جمله‌ی آنها می‌توان به زندگی در سطح شبه اجتماعی^{۱۹۵}، زندگی در سطح نیمه اجتماعی^{۱۹۶} و زندگی اجتماعی واقعی^{۱۹۷} اشاره کرد.

در زندگی اجتماعی واقعی - که مورچه‌ها و موریانها و زنبورها نمونه‌هایی از آن هستند - تقسیم وظیفه و طبقات اجتماعی وجود دارد. این طبقات، معمولاً به تقلید از آنچه در جامعه‌ی انسانی رواج داشته، کاست^{۱۹۸} نامیده می‌شوند.

برخی قواعد رفتاری ساده در **گروه‌های حشرات اجتماعی** وجود دارد که حاصل آنها در سطح کلان اجتماعی، در قالب رفتارهایی بسیار پیچیده و هوشمندانه بروز می‌کند.

معمولاً سه ویژگی زیر در میان حشراتی که زندگی کاملاً اجتماعی دارند مشهود است^{۱۹۹}:

- از فرزندان جوان جامعه مراقبت می‌کنند. حتی اگر فرزند مستقیم آنها نباشند.
- تقسیم کار بین آنها وجود دارد (که عملاً به شکل‌گیری طبقات اجتماعی منجر می‌شود)
- نسل‌ها هم‌پوشانی دارند. به عبارتی، همه‌چیز از طریق زن منتقل نمی‌شود و بخشی از رفتارها هم از نسل قبل آموخته می‌شوند^{۲۰۰}.

^{۱۹۴} Grimaldi, D. A., & Engel, M. S. (2006). Evolution of the insects. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

^{۱۹۵} Quasisocial

^{۱۹۶} Semisocial

^{۱۹۷} Eusocial

^{۱۹۸} Caste

^{۱۹۹} Crespi, B. J., & Yanega, D. (1995). The definition of eusociality. Behavioral Ecology, 6(1), 109-115. doi:10.1093/beheco/6.1.109

^{۲۰۰} به این نوع یادگیری، یادگیری عمودی غیرژنتیکی گفته می‌شود. قبلاً به بهانه‌های مختلف، اصطلاح یادگیری افقی را به کار برده‌ام. یادگیری که میان افراد هم‌نسل روی می‌دهد و در مورد انسان‌ها، مطالعه و گفتگو، مصداق‌هایی از آنها محسوب می‌شود.

برای درک هوشمندی حشرات اجتماعی، موریانه‌ها نمونه‌ی خوبی هستند. این موجودات، بیش از سیصد میلیون سال است که بر روی زمین زندگی می‌کنند و اگر چه حتی غذای گونه‌ای از دایناسورها هم بوده‌اند، اما این توانایی را داشته‌اند که باقی بمانند و انقراض نسل شکارچیان درشت‌هیکل خود را به نظاره بنشینند.

در مورد حشرات و رفتارهای اجتماعی آنها، می‌توان حرف‌ها و حکایت‌های بسیاری گفت. اما قاعدتاً در این کتاب، بخشی از روایت زندگی حشرات جذاب است که در زندگی انسانی و ارتقاء کیفیت ابزارهای انسان، مفید و الهام‌بخش باشند. بنابراین اجازه دهید، صرفاً اشاره‌ی کوتاهی به رفتار مورچه‌ها در پیدا کردن غذا بپردازیم.

فرومون‌ها - ابزار تصمیم‌گیری در جامعه‌ی مورچه‌ها

اگر به خاطر سپردن نام فرومون^{۲۰۱} برای شما ساده نیست، بهتر است آن را به واسطه‌ی شباهتش با هورمون به خاطر بسپارید.

هورمون‌ها در درون بدن موجودات تولید می‌شوند و از طریق خون در بدن ما جابجا می‌شوند تا رفتارهای ما را تنظیم کنند. اما فرومون‌ها، از بدن موجودات ترشح می‌شوند و توسط گیرنده‌های بیرونی موجودات دیگر - که هم‌گونه‌ی آنها هستند - حس می‌شوند و به این طریق بر رفتار سایر اعضای جامعه تاثیر می‌گذارند^{۲۰۲}.

اجازه بدهید روایتی ساده شده - اما درست - از نحوه‌ی مسیریابی غذا در مورچه‌ها را با هم مرور کنیم:

مورچه‌ها از جمع جدا می‌شوند و هر کدام از یک مسیر به سمت غذا حرکت می‌کنند. آنها تمام مسیر خود را با فرومون علامت‌گذاری می‌کنند. هر مورچه، پس از اینکه غذا را برداشت، از همان مسیری که با فرومون علامت‌گذاری کرده باز می‌گردد.

حالا فرض کنید دو مورچه از دو مسیر متفاوت به سمت غذا رفته‌اند. یکی مسیر کوتاه‌تری را انتخاب کرده و زودتر به محل اولیه بازمی‌گردد.

^{۲۰۱} Pheromone

^{۲۰۲} اگر عمر و فرصتی بود و بحث‌ها جلوتر رفت، باید در مورد اینکه چگونه لایک و کامنت در شبکه‌های اجتماعی، نقش فرومون‌ها در جامعه‌ی حشرات را ایفا می‌کنند و چگونه می‌توان از رفتار حشرات برای مدیریت رفتار گروهی انسانی استفاده کرد، بنویسم. روزی که یک فصل کامل در این باره نوشتم، این پاورقی را حذف خواهم کرد.

الان مسیری که او رفته دو مرتبه (در رفت و برگشت) به فرومون آغشته شده. اما مسیری که مورچه‌ی دیگر رفته (و هنوز برنگشته) تنها یک مرتبه به فرومون آغشته شده است.

پس مورچه‌ی جدیدی که می‌خواهد حرکت کند، مسیر کوتاه‌تر را (که دوبار آغشته شده) طی خواهد کرد.

البته در عمل، مورچه‌ها غذا را دست به دست می‌کنند. همچنین ممکن است وقتی مسیرشان مسیر مورچه‌ی دیگری را قطع کند، بر اساس میزان فرومون، مسیر آن مورچه را ادامه دهند.

ضمن اینکه عملاً کنترل ترافیک هم اتفاق می‌افتد. اگر یک مسیر شلوغ باشد یا مورچه‌ها به تقاطع برسند یا مانعی در مسیر به وجود بیاید، مورچه‌ها در میان گزینه‌های باقی‌مانده، همچنان بهترین را انتخاب خواهند کرد^{۲۰۳}.

تصور اینکه همین ایده‌ی ساده، تا چه حد می‌تواند در مدیریت ترافیک در اینترنت و شبکه‌های مخابراتی مفید باشد، چندان دشوار نیست.

یکی از بحث‌های مهم در بسترهای اطلاعاتی و ارتباطی، **مسیریابی**^{۲۰۴} است. حتی در ساده‌ترین جستجوی اینترنتی یا یک مکالمه‌ی تلفنی ساده هم، بسته‌های اطلاعاتی در راه، باید چند بار دست به دست شوند.

مستقل از اینکه این بسته‌ها چه هستند و در چه نوع شبکه‌ای جابجا می‌شوند، برای این المان‌های واسطه‌ای مسیریاب، از اصطلاح روتر^{۲۰۵} استفاده می‌شود. به عنوان مثال، در بستر اینترنت، روتر با دریافت بسته‌های اطلاعاتی، مقصد آنها را می‌خواند و سپس تصمیم می‌گیرد که از میان مسیرهای موجود، بسته را از کدام مسیر به سمت مقصد روانه کند.

با توجه به اینکه تعداد مسیرهای قابل تصور برای انتقال یک بسته از نقطه‌ی مبدا به مقصد، ممکن است بسیار زیاد باشد، می‌توانید حدس بزنید که روش فرومون مورچه‌ها تا چه حد می‌تواند برای مدیریت ترافیک مفید واقع شود.

اهمیت این الگوریتم، وقتی بیشتر حس می‌شود که در یک مسیر ترافیک بسیار وجود دارد یا اصلاً قطعی کامل به وجود می‌آید و پیدا کردن مسیر دوم - از منظر ریاضی - می‌تواند مسئله‌ای دشوار و زمان‌بر باشد.

^{۲۰۳} Second best alternative

^{۲۰۴} Routing

^{۲۰۵} Router

میر و بوناپو در مقاله‌ای که در نشریه Harvard Business Review منتشر کردند، مثالی دیگر از کاربرد مکانیزم فورمون در شبیه‌سازی هوش گروهی مورچه‌ها را مورد بحث قرار داده‌اند.^{۲۰۶}

آنها به مشکل حمل بار توسط خطوط هوایمایی South West اشاره می‌کنند. مشکل خط هوایی این بوده که بخش مهمی از ظرفیت حمل بار، مورد استفاده قرار نمی‌گرفته است. چنانکه نویسندگان اشاره می‌کنند، تنها حدود ۷٪ ظرفیت استفاده می‌شده و ظرفیت باقیمانده، بلااستفاده بوده است.

شاید برای شما جالب باشد که همزمان، مشکل جدی در حمل و جابجایی بار وجود داشت. چون بعضی مسیرها بسیار شلوغ و برخی دیگر بسیار خلوت بودند و تعدادی از ترمینال‌ها به گلوگاه تبدیل شده بودند.

استفاده از سیستم تعیین مسیر بار - مشابه چیزی که مورچه‌ها استفاده می‌کنند - کمک کرد که خط هوایی به این نتیجه برسد که برای ارسال یک بسته از شهر الف به شهر ب، الزاماً بهترین گزینه استفاده از پرواز مستقیم بین الف و ب نیست. در شرایطی که برداشتن بار در مبدا و تخلیه و تحویل بار در مقصد زمان‌بر است و ترمینال‌ها به گلوگاه تبدیل شده‌اند، اقتصادی‌تر است که بار در شهر الف به مقصد شهری دیگر (مثلاً ج) ارسال شود و از شهر ج توسط پرواز دیگری به شهر ب برسد.

تصور اینکه شکل‌های پیچیده‌تر پیاده‌سازی سیستم هوش گروهی مورچه‌ها، چگونه می‌تواند به گوگل مپ برای پیدا کردن بهترین مسیر در ترافیک شهری کمک کند، یا بار محاسبه بین چند پردازنده تقسیم شود، چندان دشوار نیست.

البته می‌دانیم که پیاده‌سازی الگوریتم‌ها و استفاده از آنها در فضاهای مختلف، ظرافت‌ها و پیچیدگی‌های بسیاری دارد. اما آنچه محور اصلی بحث ما در هوش گروهی است، این است که قواعد ساده برای موجودات ساده در مقیاس بزرگ می‌تواند به رفتارهایی پیچیده و هوشمندانه تبدیل شود که از بیرون، دستاورد یک مغز پیچیده و قدرتمند به نظر می‌رسند.

^{۲۰۶} Bonabeau, E., & Meyer, C. (2001, May). Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think About Business. Harvard Business Review.

