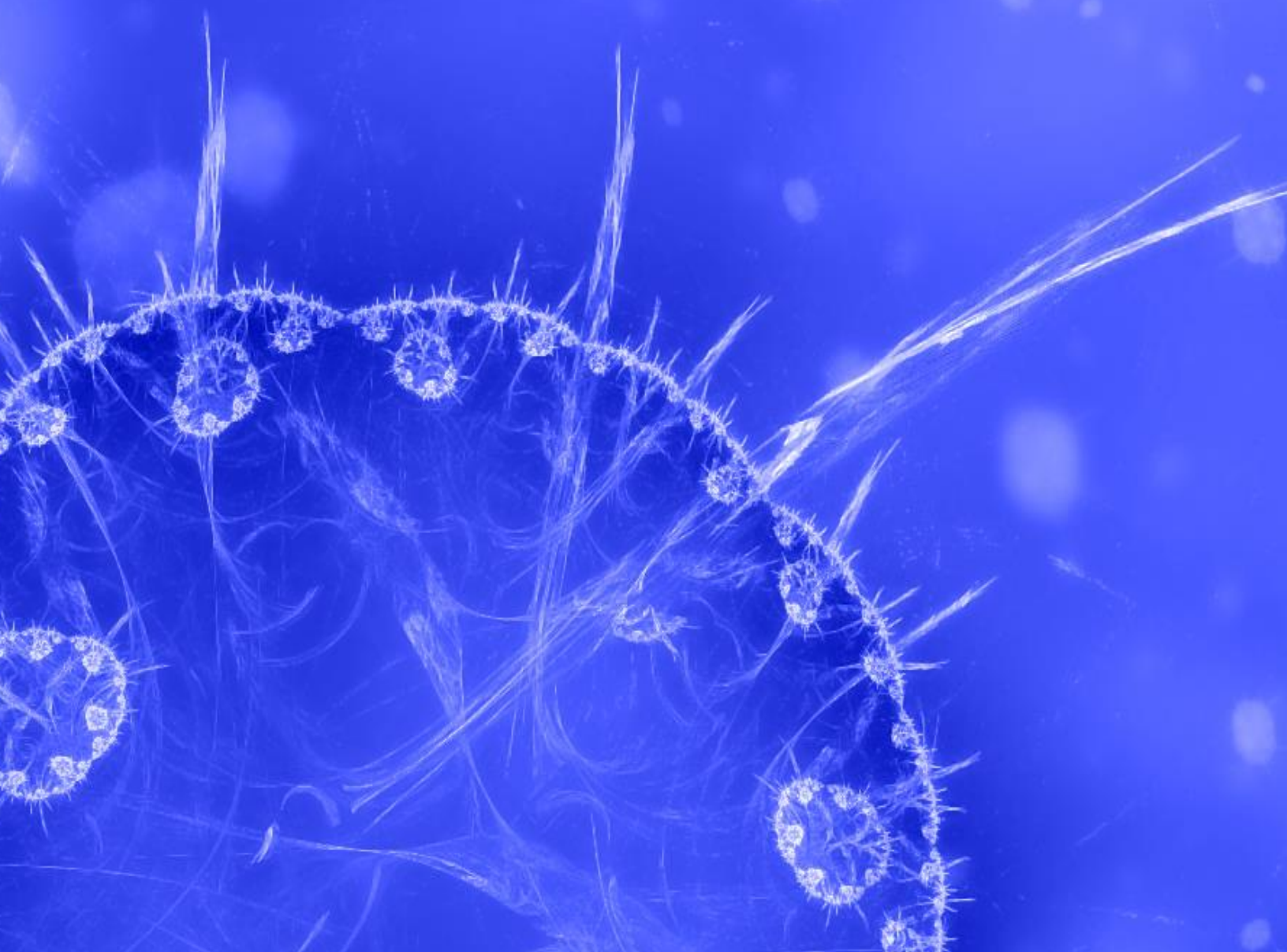


مقدمه‌ای بر

سیستم های پیچیده

محمد رضا شعبانعلی



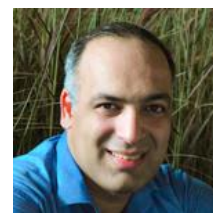
تقديم به نخستين موجودى كه روزى در درونش،
جهان را چيزى متفاوت از آنچه بود تصور كرد.
و پس از آن روياء، از خود پرسيد:
پس چرا دنيا آن گونه نيست؟

و نيز،

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



یک شوخی رایج بین نویسندگان این است که می‌گویند اگر می‌خواهید مقدمه‌ی یک کتاب خوانده شود، عنوان آن را **فصل اول** بگذارید.



من چنین نکرده‌ام؛ اگر چه امیدوارم همچنان خواننده‌ای که این کتاب را در اختیار دارد، خواندن آن را از این مقدمه آغاز کند. با این کار، بهتر خواهد توانست رویایی را که در ذهن نویسنده بوده و انگیزه‌ای را که در پس نوشتن این کتاب بوده، بهتر و دقیق‌تر درک کند.

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 به تازگی 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 همان‌طور که از یک دانش‌آموز دبیرستانی انتظار می‌رود، صرفاً بخش‌هایی از آن را درک کرده بودم.

آن کتاب، ماه‌ها همراه روز و هم‌بستر شب من بود. برای اینکه عشق من را به دنیای برنامه‌نویسی و نرم‌افزار و هوش مصنوعی بهتر تصور کنید، کافی است در خاطر داشته باشید که وقت و توان آن سال‌های من چنان برای این موضوعات صرف شده بود که سال قبل به علت نمره‌ی پایین در درس‌های مختلف، از مدرسه‌ی علامه‌حلی اخراج شده بودم.

بنابراین به سادگی می‌توانید حدس بزنید که در چنین شرایطی، کتابی که به موضوع هوش مصنوعی پرداخته بود، چگونه می‌توانست ذهنم را – البته در سطح فهم یک نوجوان دبیرستانی – تسخیر خود کند.

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

فرض کنید به کره‌ای دیگر رفته‌ایم و در آنجا موجوداتی را می‌بینیم که شکلی بسیار ناشناخته و نامتعارف دارند و صحبت هم نمی‌کنند (یا اگر پیامی ارسال می‌کنند، سیگنال‌ها و 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 در تمام این سال‌ها فراموش کرده بودم؛ تا اینکه وقتی امروز می‌خواستم بر این کتاب مقدمه‌ای بنویسم، دوباره در خاطرم زنده شد. اما جالب اینکه پرسش ابتدای آن سخنرانی را هرگز فراموش نکردم و به نوعی احساس می‌کنم

که بیست سال اخیر، بخش قابل توجهی از خواندن و نوشتن و فکر کردن، به جستجوی پاسخ آن پرسش و پرسش‌های مشابه گذشته است.

جستجوهای پراکنده و بعضاً مطالعه‌ی ساختاریافته در زمینه‌ی هوش، روانشناسی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، فرکتال‌ها و نظریه‌ی آشوب، اگر چه در طول مسیر چندان مرتبط به نظر نمی‌رسیدند، اما طی سال‌های اخیر – که با نظریه‌ی پیچیدگی آشنا شدم – به اجزاء مرتبط یک نظام فکری تبدیل شدند و به همین علت به نتیجه رسیدم که وقت صرف‌شده برای مطالعه‌ی این نوع بحث‌ها در تمام این سال‌ها به هرز نرفته است. حاصل آن مطالعه‌ها این شده است که اجزاء نظام فکری‌ام، به شکلی ساده‌تر، منطقی‌تر و مولدتر در کنار یکدیگر قرار بگیرند. منظورم از مولد این است که این نظام فکری می‌تواند پاسخ‌های قابل اتکای بیشتری را برای سوال‌هایی که هر لحظه به ذهن ما خطور می‌کنند ارائه کند.

پرسش در مورد «زنده بودن» و «مرده بودن» و تعریف «زندگی»، تنها نمونه‌هایی از این سوال‌ها هستند. اگر چه – لااقل در نگاه من – این‌ها را باید از جمله‌ی ساده‌ترین و کوچک‌ترین سوال‌هایی دانست که با درک عمیق سیستم‌های پیچیده، از حیطه‌ی فلسفه خارج می‌شوند و پاسخی علمی پیدا می‌کنند.

واژه‌ی فلسفه را در اینجا به معنایی که ری کورزویل^۱ به کار می‌برد مورد استفاده قرار داده‌ام. او در کتاب چگونه یک ذهن بسازیم^۲، فلسفه را به منزلگاه میانی در جاده‌ای تشبیه می‌کند که منزلگاه نهایی آن جاده، علم است. ما انسان‌ها، هر جا که نمی‌توانیم با روش علمی^۳ به پاسخ پرسش‌های خود دست یابیم، به سراغ فلسفه می‌رویم.

اما پرسش‌ها قرار نیست همیشه، ساکن مهمان‌سرای فلسفه بمانند و به محض آن‌که روش علمی پاسخ آن‌ها را مشخص کرد، به سرزمین علم سفر می‌کنند و اتاق‌های مهمان‌سرای فلسفه را برای مهمان‌ها و نادانسته‌های جدیدی که زاده خواهند شد، خالی می‌کنند.

رسم است که در ابتدای کتاب‌ها، نویسندگان توضیحات مختصری در مورد هر فصل ارائه می‌کنند؛ اما از آنجا که این مقدمه، پیش از تألیف کتاب نوشته شده است، انجام چنین کاری امکان‌پذیر نیست.

بنابراین به جای معرفی فصل‌ها می‌کوشم در یک جمله، هدفی را که در این نوشته تعقیب می‌کنم توضیح دهم:

^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

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.

مترادف بودنِ زندگی و پیچیدگی را به عنوان یک استعاره - یا چیزی از جنس اشعاری که در تاریخ هزارساله‌ی حرافی‌های ادب فارسی کم نیست - نمی‌گوییم؛ بلکه آن را به عنوان تعبیر کاملاً علمی مد نظر دارم.

لازم است تأکید کنم که نمی‌خواهم بگویم سیستم‌های زنده، یکی از انواع سیستم‌های پیچیده هستند؛ بلکه تمام این نوشته در نهایت به یکسان بودن این دو نوع سیستم معطوف است.

بر این باور هستم که «زنده بودن» و «زندگی»، دو تعبیری 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، واژه‌های زنده و مرده را تعبیرهایی ادبی بداند که گذشتگان، برای توصیف سیستم‌های پیچیده‌ای که قادر به توضیحشان نبودند به کار می‌برده‌اند.

محمدرضا شعبانعلی

پاییز ۹۵

^۴ Conceptualize

حکایت

می‌گویند روزی روزگاری جوانی انگلیسی زبان در سرزمینی بیگانه گرفتار زندان شد. برای تحمل بهتر تنهایی، به هر در و دیواری می‌زد و دنبال هم‌زبانی می‌گشت.

ظاهراً بخت با او یار بود و توانست در سلول مجاور کسی را پیدا کند که انگلیسی را در حد دست‌وپاشکسته می‌دانست. روزهای اول به آشنایی گذشت و از تمام ظرفیت آن معدود واژه‌های مشترکی که داشتند استفاده شد. چند روزی گذشت و حرف تازه‌ای در میان نبود. مرد انگلیسی زبان از زندانی همسایه خواست تا به او زبان مادری خویش را بیاموزد.

زندانی همسایه با خوش حالی پذیرفت؛ اما برای این کار شرطی گذاشت. گفت هر چه می‌خواهی بپرس و من می‌کوشم تا واژه‌ها و جمله‌ها را به بهترین شکل ممکن به تو بیاموزم. اما هیچ پرسشی را برای بار دوم پاسخ نخواهم داد. بنابراین بکوش تا درس‌هایت را به خوبی فرا بگیری.

مرد انگلیسی‌زبان پذیرفت و گفت: «هر چه بگویی بر دیوار سلول خواهم نوشت تا تو را از تکرار آموزه‌های بی‌نیاز کنم» و بدین‌شیوه، آموزش زبان آغاز شد. نخستین روزها به واژه‌ها و عبارت‌های ساده می‌گذشت و شاگرد تازه‌نفس، با ذوق و شوق آنها را بر روی دیوار می‌نوشت و حفظ می‌کرد. بعد نوبت فعل‌ها و قیده‌ها و ضرب‌المثل‌ها رسید. به تدریج مرد انگلیسی بر زبان دوم مسلط شد.

البته این کلاس درس از پشت دیوار، صرفاً به واژه‌ها و فعل‌ها و صفت‌ها و قیده‌ها محدود نبود. در میانه‌ی درس، معلم از شگفتی‌های سرزمینش می‌گفت؛ از جنگل‌های سبز و کوه‌های سربه‌فلک کشیده؛ از شهرها و روستاها.

چند سالی گذشت تا مرد انگلیسی توانست با زبان جدید شعر هم بگوید و زیبایی‌های سرزمین مادری معلمش را برای او در قالب شعر توصیف کند و به این شیوه، رضایت و شادمانی او را فراهم آورد.

دوران محکومیت مرد انگلیسی به پایان رسید و او در نخستین روزهایی که بعد از زندان پا به زندگی گذاشت، تصمیم گرفت به سرزمینی که همواره از آن شنیده بود و کوه‌ها و دشت‌ها و منظره‌هایش را در شعرهایش سروده بود سفر کند و در این میان، تسلط خود را نیز بر زبان جدید بیازماید.

او به مقصد رسید و چشمانش، خسته و گمگشته، کوه‌ها و رودها و جنگل‌هایی را که باید می‌دید، جستجو می‌کرد؛ اما ظاهراً هیچ‌چیز سر جای خود نبود. با نخستین کسی که در آنجا دید صحبت کرد. سعی کرد به بهترین شکل ممکن، سلام و احوال‌پرسی را ادا کند و سپس با جمله‌ای که تک تک کلماتش به دقت انتخاب شده بود، در مورد منظره‌های مد نظرش سوال کرد.

شنونده، با شگفتی به او نگاه کرد. گویی که صدایش را نمی‌شنود. حتی یک کلمه را هم نفهمیده بود. مرد در اینجا فهمید آن زبانی که سال‌ها برای آموختنش وقت گذاشته بود، صرفاً زاینده‌ی خیالات همسایه‌ی زندانی‌اش بوده است. او اکنون برای یافتن هم‌زبان، باید به زندان بازمی‌گشت.

آنچه نقل کردم، روایتی آزاد از داستانی بود که درِک پارتریج^۵ در مقدمه‌ی کتاب خود درباره‌ی معمای هوش^۶ آورده است. البته من این روایت را با هدفی دیگر و تفسیری دیگر به کار می‌گیرم.

خوشحالم که لازم نیست اجازه‌ی پارتریج را هم برای نقل این روایت کسب کنیم؛ چون او خود این داستان را از فیلم دیگری که جزئیاتش را به خاطر نمی‌آورد نقل کرده است.

اگزوپی در کتاب معروف خود شازده کوچولو، جمله‌ای دارد که بسیار مشهور شده است: «زبان، سرچشمه‌ی سوء تفاهم‌هاست.» اما شاید بهتر باشد جمله‌ی دیگری را هم به این حرف اگزوپی بیفزاییم: «زبان سرچشمه‌ی سوء تفاهم‌هاست؛ خصوصاً اگر دو طرف احساس کنند بر سر معنای واژه‌ها تفاهم دارند.»

زمانی که داستان پارتریج را خواندم، بلافاصله احساس کردم که هیچ چیز به خوبی این روایت، آنچه را قصد دارم در این کتاب بگویم بیان نمی‌کند.

ما همه زندانیان بدن خویشیم. هر دوست یا همسایه یا همکار، زندانی مجاوری است که در بدنی دیگر زندگی می‌کند. زبان، قرار است فهم مشترکی از جهان برای ما بسازد. گاه این کار را ادیبان انجام داده‌اند و گاه فیلسوف‌ها. اهل علم هم به شیوه‌ای دیگر و با تکیه بر قواعدی دیگر، زبانی دیگر ساخته‌اند. اگر چه بین صاحبان این زبان‌ها تفاوت‌ها و تعارض‌های بسیار است، اما یک وجه مشترک همه‌ی این زندانیان در بند را به یکدیگر متصل می‌کند. همه‌ی این زبان‌ها از جهانی حرف می‌زنند که بیرون زندان ذهن ما وجود دارد و طبیعتاً هیچکس از بیرون زندان نیامده است تا راستی و ناراستی این همه واژه و شعر و روایت و داستان و دانسته را برای ما تایید یا تکذیب کند.

پیچیدگی در این میان، زبان دیگری پیش روی ما قرار می‌دهد که اگر چه همچون سایر زبان‌ها در دام ذهن ما گرفتار است، اما لااقل توانسته است پیوندی شگفت بین زبان‌های شاخه‌های مختلف علم، از فیزیک تا شیمی و از زیست‌شناسی تا انسان‌شناسی و از روانشناسی تا جامعه‌شناسی و از اقتصاد تا تکنولوژی برقرار کند.

^۵ Derek Partridge

^۶ Partridge, D. (2014). What makes you clever the puzzle of intelligence. Singapore: World Scientific Pub. Co.

از این رو، این زبان، مستقل از آنکه چه رابطه‌ای با جهان خارج دارد، این ظرفیت را دارد که به زبان مشترک همه‌ی ما زندانیانِ طبیعتِ انسانی تبدیل شود.

هر آنچه در ادامه‌ی این کتاب می‌آید، تلاشی برای اثبات این ادعاست.

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

مرور چند نمونه از سیستم‌های پیچیده

بدیهی است که در ادامه‌ی این کتاب، باید به شکلی رسمی و جدی به تعریف سیستم پیچیده و بررسی ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده بپردازیم. اما مناسب‌تر است در لحظات اول ورود به بحث، با تعریفی نسبتاً ساده از سیستم‌های پیچیده و ارائه‌ی چند مثال، فضای کلی بحث و دامنه‌ی موضوع پیچیدگی را بهتر و شفاف‌تر پیش چشم خود مجسم کنیم.

معمولاً بحث پیچیدگی و سیستم‌های پیچیده^۶ را این‌گونه آغاز می‌کنند که پیچیدگی با **سخت بودن** و **دشواری فهم بودن** تفاوت دارد. ما وقتی یک ساختار یا روش مواجهه با مسئله‌ی ریاضی یا یک سیستم پیشرفته‌ی مخابراتی و الکترونیکی را درک نمی‌کنیم، آن را با صفت پیچیده توصیف می‌کنیم. این نوع مفهوم دشواری و پیچیدگی همان چیزی است که در زبان انگلیسی از آن با واژه‌هایی مانند **Difficult** و **Complicated** یاد می‌شود.^۸

سیستم‌های پیچیده معمولاً با **اعضای زیاد** و **تعداد رابطه‌های بسیار بین این اعضا** شناخته می‌شوند. مجموعه‌ی قوای محرکه یک خودرو و سیستم‌های کنترل الکترونیکی مربوط به آن را در نظر بگیرید. چنین سیستمی از چند هزار قطعه تشکیل شده است. می‌توانید این قطعات را شماره گذاری کنید و سپس رابطه‌های بین این قطعات را هم فهرست کنید: اینکه کدام قطعه با کدام قطعه در ارتباط است و این رابطه از چه نوعی است.

^۶ Complex systems

^۸ من زمانی برای ترجمه‌ی واژه‌ی **Complicated** در مقابل واژه‌ی **Complex** از اصطلاح «**درهم‌تنیده**» استفاده کردم. آن زمان در ذهنم یک سیستم کامپیوتری، سیستم محرکه‌ی خودرو یا سیستم PLC یک دستگاه صنعتی یا میکروکنترلرهای یک هواپیما را تصور می‌کردم و می‌دیدم که تعبیر **درهم‌تنیده** می‌تواند واژه‌ی مناسبی برای توصیف وضعیت این سیستم‌ها (که **Complex** نیستند اما **Complicated** هستند) باشد. سیستم‌هایی که به معنای علمی، پیچیده نیستند، اما اجزای آنها در رابطه‌ای پیچیده در هم تنیده شده و گره خورده‌اند و درک ساختار و نحوه‌ی عملکردشان برای فرد غیرمتخصص، چندان ساده نیست. امروز احساس می‌کنم که استفاده از تعبیر **درهم‌تنیده** اگر چه در بسیاری از موارد درست و منطقی است، اما فکر می‌کنم برابر دانستن **Complicated** و **درهم‌تنیده**، کمی دور از دقت و سلیقه است. گاهی اوقات، **دشواری فهم بودن** و تعبیرهای مشابه، بهتر می‌توانند این مفهوم را منتقل کنند. به هر حال خوشحالم که بعد از عبور از این نقطه‌ی کتاب، احتمالاً دیگر نیازمند این واژه نخواهیم بود و در فصل‌های آتی، ابزارهای بهتری برای تعریف و تفکیک سیستم‌های **Complex** و **Complicated** خواهیم داشت. از جمله اینکه پس از معرفی مفهوم اطلاعات، خواهیم دید که سیستم‌های پیچیده نسبت به سیستم‌های **Complicated**، حجم اطلاعات بیشتری را در خود ذخیره می‌کنند.

احتمالاً تعداد رابطه‌ها هم مانند تعداد قطعات از چند هزار مورد بیشتر نخواهد شد. ضمن اینکه رابطه‌ها از جنس استاتیک و ایستا هستند. اگر امروز، انژکتور سوخت را از یک لوله دریافت می‌کند و آن را در داخل سیلندر می‌پاشد، فردا هم انژکتور با لوله‌ی سوخت و با سیلندر در ارتباط است. نه سوخت را از جای دیگر خواهد گرفت و نه پودر سوخت را به جای متفاوتی خواهد پاشید.

اما رابطه‌ها در یک شهر چند هزار نفری را در نظر بگیرید. شاید تعداد المان‌ها تفاوت چندانی نکند؛ اما احتمالاً تعداد رابطه‌ها بسیار بیشتر خواهد بود. ضمن اینکه امروز من از شما حرفی را می‌شنوم و به دوست خود می‌گویم و فردا حرفی را از دوستم می‌شنوم و به دوست دیگری می‌گویم و یک روز هم نکته‌ای را از یک رهگذر می‌شنوم و در جایی تکرار نمی‌کنم و به تدریج فراموش می‌شود. بگذریم از اینکه ممکن است یک شهر جمعیت بسیار بیشتر هم داشته باشد.

آنچه در اینجا می‌بینیم **تعداد بسیاری از اجزاء در کنار تعداد بسیاری از رابطه‌ها** است که ضمناً **پویایی بیشتری** هم دارند و شکل و نوع این رابطه‌ها در طول زمان تغییر می‌کند.

ما قطعاً باید سیستم‌های پیچیده را به شکلی بهتر و دقیق‌تر تعریف و بررسی کنیم. اما همین توضیحات باعث می‌شود بتوانیم چند مثال از سیستم‌های پیچیده را در ذهن خود مجسم کنیم.

سیستم‌های زیستی یکی از نمونه‌های بسیار مناسب برای مطالعه سیستم پیچیده محسوب می‌شوند. تعداد بسیار زیادی از سلول‌ها در کنار هم ارگانیسم‌ها، ارگان‌ها (اندام‌ها) و موجودات را می‌سازند که خود آنها هم با یکدیگر در ارتباط هستند. ترکیب این سیستم‌ها، سیستم‌هایی بزرگتر و پیچیده‌تر را می‌سازند و معمولاً در حدی پیچیده‌اند که ما به خوبی نمی‌توانیم مکانیزم‌های حاکم بر رفتار آنها را تشخیص دهیم و به همین علت، ترجیح می‌دهیم صفت زنده را در مورد آنها به کار ببریم. مغز انسان، خود انسان، سیستم ایمنی بدن، جامعه انسانی و اکوسیستم‌ها، از جمله مصداق‌های بسیار عالی برای سیستم پیچیده محسوب می‌شوند.

سیستم‌های اقتصادی نمونه‌ی دیگری از سیستم‌های پیچیده هستند که همه‌ی ما به نوعی آنها را تجربه کرده‌ایم؛ بانک‌ها که در تعداد بسیار زیاد با خود و با سرمایه‌گذاران و مشتریان در ارتباط هستند؛ بازارهای بورس و اوراق بهادار که تعداد بازیگران و روابط در آنها بسیار زیاد است و نیز اقتصاد کلان در یک کشور یا در سطح جهان که المان‌های متنوع و رابطه‌های پویا و متعدد را در دل خود جا داده است، نمونه‌هایی از سیستم‌های اقتصادی پیچیده محسوب می‌شوند.

سیستم آب و هوا و شرایط اقلیمی هم از جمله سیستم‌های پیچیده در جهان محسوب می‌شود. بحث‌هایی که در مورد گرمایش زمین و تهدید زندگی انسان توسط دست‌ساخته‌های انسان مطرح می‌شوند، به این سیستم پیچیده و رفتارهای آن اشاره دارد. اگر از بحث‌های سیاسی بگذریم، بخشی از اختلاف‌های صاحب‌نظران در مورد گرمایش زمین و تغییر شرایط

اقلیمی^۹ به این علت به نقطه‌ی نهایی نرسیده که سیستم مورد بررسی پیچیده است و تعداد و تنوع رابطه‌ها در آن بسیار بیشتر از حدی است که بتوان به سادگی در مورد علت‌ها و معلول‌ها در آن اظهار نظر کرد.

مثال‌های بسیار بیشتری هم می‌توان مطرح کرد. ترافیک در یک شهر یا در مجموعه جاده‌های یک کشور؛ اینترنت و همه‌ی چیزهایی که توسط آن به یکدیگر متصل می‌شوند؛ مجموعه کاربران یک شبکه اجتماعی دیجیتال مثل فیس‌بوک یا توییتر یا اینستاگرام و مجموعه کاربران یک شبکه مخابراتی یا یک نرم‌افزار پیام‌رسان، هر کدام سیستمی پیچیده را تشکیل می‌دهند.^{۱۰}

البته شاید بد نباشد در همین جا به این نکته اشاره داشته باشیم که رایج است برای سیستم‌های پیچیده‌ای که انسان‌ها یا سازمان‌های انسانی جزئی از آن هستند، اصطلاح سیستم‌های پیچیده‌ی اجتماعی^{۱۱} را به کار برند. بنابراین، مثال‌هایی مثل اقتصاد و سیستم‌های مالی، جامعه و جامعه‌شناسی، شبکه‌های اجتماعی، دولت‌ها و سازمان‌های بزرگ غیردولتی، اگر چه به هر حال زیرمجموعه‌ی سیستم‌های پیچیده محسوب می‌شوند، اما دقیق‌تر خواهد بود اگر آنها را سیستم‌های پیچیده‌ی اجتماعی بنامیم.

ما در آینده به هر یک از این مثال‌ها بازخواهیم گشت و البته ده‌ها مثال دیگر را هم باید مطرح و بررسی کنیم، اما همین مثال‌های محدود تا حدی فضای بحث پیچیدگی را – که در ادامه‌ی کتاب به آن می‌پردازیم – برای ما روشن می‌کنند.

چرا امروز بیش از گذشته به شناختن سیستم‌های پیچیده نیازمندیم؟

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.

^۹ Climate change

^{۱۰} بد نیست به این نکته توجه داشته باشیم که سیستم پیچیده‌ای مثل اینترنت توسط سیستم پیچیده‌ای به نام انسان خلق شده است. چنانکه اقتصاد هم سیستم پیچیده‌ی مخلوق انسان است. در کل یکی از ویژگی‌های بسیاری از سیستم‌های پیچیده، زایش است. این سیستم‌ها می‌توانند سیستم‌هایی دیگر را بزایند و خلق کنند. اگر چه نمی‌توانیم بگوییم هر سیستم پیچیده‌ای باید بتواند زایش داشته باشد. یک سیستم پیچیده اگر بتواند بقای خودش را هم حفظ کند و به جهان خودش محدود و محصور باشد، همچنان پیچیده محسوب می‌شود.

^{۱۱} Social complex systems

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 امپراتور 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^{۱۲} یا خرده اثرگذاران^{۱۳} 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 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 خرده قدرت، 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^{۱۴}.

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.

^{۱۲} Micro-powers

^{۱۳} Micro-influencers

^{۱۴} 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.

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.

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.^{۱۵} 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.^{۱۶}

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

^{۱۵} Helbling, M., & Stojanović, N. (2011). Switzerland: challenging the big theories of nationalism. *Nations and Nationalism*, 17(4), 712-717. doi:10.1111/j.1469-8129.2011.00516.x

^{۱۶} 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.

توجه دقیقی 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:^{۱۷}

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.

بعد از مک‌لوهان، باید از فریگیس کارینثی^{۱۸} 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.^{۱۹} 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 دوست 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.

^{۱۷} McLuhan, M. (1964). Understanding media: the extensions of man (p. 3). New York: McGraw-Hill.

^{۱۸} Frigyes Karinthy

^{۱۹} 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.

در ادامه‌ی زنجیره‌ی افرادی که به **انقباض جهان** فکر کرده‌اند، بی‌تردید باید نام کریستاکیس^{۲۰} 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.

بر این باور هستم که در میان کتاب‌هایی که تا لحظه‌ی نگارش این متن منتشر شده‌اند، کتاب **متصل**^{۲۱} 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، کاریشی 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.

^{۲۰} Nicholas A. Christakis

^{۲۱} 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.

در کل، اگر بخواهم مثال‌های متفاوت و متنوعی را که در بخش قبل و اینجا مطرح کردم، زیر سقف یک اصطلاح گرد هم بیاورم، احتمالاً اصطلاح سیستم‌های بی‌سر^{۲۲} 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^{۲۳} 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:

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 سرقه‌ها. 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.

^{۲۲} Headless Systems

^{۲۳} Durant, W., & Durant, W. (1926). The story of philosophy: the lives and opinions of the greater philosophers. New York: Simon and Schuster.

شاید منصفانه نباشد که مورخان را به خاطر این بی‌توجهی سرزنش کنیم. چون تاریخ را محدود 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 چه نکته‌ی بسیار مهم دیگری هم در این کتاب وجود دارد که آن را به تدریج و در فصل‌های مختلف کتاب بیشتر و بهتر درک خواهیم کرد. اینکه سیستم‌های پیچیده با وجود تنوع گسترده‌ی خود دارای ویژگی‌های مشابه بسیاری هستند و می‌توان از روش‌های مشابه برای درک این مجموعه‌های ظاهراً نامتشابه استفاده کرد.

شناخت سیستم‌های پیچیده به ما کمک می‌کند بهتر درک کنیم که تفاوت‌ها و فاصله‌ی ظاهری بین شاخه‌های مختلف علوم، اعم از فیزیک، زیست‌شناسی، روانشناسی، جامعه‌شناسی، تاریخ، ترمودینامیک و تکنولوژی، صرفاً از درک ناقص ما و البته متدولوژی چند قرن اخیر ما در درک و تفسیر جهان ریشه می‌گیرد و این علوم – بر خلاف درک برخی از ما – از موضوعات متفاوتی صحبت نمی‌کنند.

اگر اجزای زنده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی یک جامعه را در نظر نگیریم، 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 می‌گویند؟

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

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

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

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

با توجه به اینکه تعریف سیستم‌های پیچیده نیز، خود کار پیچیده‌ای است، بهتر است هنگامی که تعریف سیستم‌های پیچیده را مطالعه و بررسی می‌کنید، چند نمونه از سیستم‌های پیچیده را در ذهن داشته باشید.

برای این کار، از میان انبوه مثال‌های قابل تصور، ارگانیسم‌ها، انسان، مغز انسان، جامعه‌ی انسانی، سازمان‌ها، اکوسیستم‌های طبیعی، یک موجود تک سلولی، بازار بورس، گله‌ی حیوانات و نیز کل جهان، نمونه‌های مناسبی از سیستم‌های پیچیده محسوب می‌شوند.

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

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

شاید مثال زیر، تفاوت این دو 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^{۲۴} 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 کره‌ی زمین محسوب می‌شوند.

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

^{۲۴} Keystone Species

در سیستم‌های پیچیده‌ی 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^{۲۵}.

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.

^{۲۵} Einstein, A., & Fürth, R. (1956). Investigations on the theory of Brownian movement. New York, NY: Dover Publications.



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

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

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

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

توصیفات رفتاری سیستم‌های پیچیده

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

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

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

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

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

ابهام علی^{۲۶}

نیکل گولدن فلد^{۲۷} رفتار پیچیده را به شکلی ساده اما زیبا تعریف می‌کند^{۲۸}: 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.

^{۲۶} Causal Opacity

^{۲۷} Nigel Goldenfeld

^{۲۸} 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 تأکید کردم، در اینجا نقش ناظر بسیار مهم است. در گذشته‌های بسیار دور، چنین طوفانی یک مسئله‌ی پیچیده محسوب می‌شده است. بعد، مثلاً در یونان باستان، می‌بینیم که این مسئله‌ی پیچیده حل می‌شود و مشخص می‌شود که خشم زئوس رعد و برق و سپس طوفان را برانگیخته است. البته اگر طوفان در آب باشد، ناشی از خشم پوزیدون است که احتمالاً خاطرات تقسیم قلمرو را به خاطر آورده و به اینکه زئوس همه‌ی آسمان‌ها و زمین را برای خود برداشته، اعتراض می‌کند.

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

نزدیک به هزار سال بعد، در دوران اوج تمدن اسلامی، می‌بینیم که کسانی مانند ابوریحان بیرونی، بوعلی سینا، خوارزمی و دیگران، این نوع ساده‌انگاری‌ها را کنار می‌گذارند و دوباره به بررسی علمی رویدادها و اتفاقات می‌پردازند.^{۲۹}

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.

^{۲۹} 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^{۳۰}

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

^{۳۰} 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.^{۳۱}

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^{۳۲} 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.

^{۳۱} این مفهوم معمولاً با عنوان Natural Selection و نیز Survival of the fittest مورد ارجاع قرار می‌گیرد.

^{۳۲} 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 لاقط مشاهده‌گر، می‌تواند تعریف‌های بسیار متفاوتی از این ویژگی ارائه دهد و آن را با معیارهای مختلفی بسنجد.

قابلیت هومیوستازی (هم‌ایستایی)

علاقمندان به علوم انسانی، هومیوستازی^{۳۳} را به عنوان یکی از واژه‌ها و مفاهیم کلیدی در نظریه‌ی سیستم‌ها مورد بررسی قرار می‌دهند.

اما با توجه به اینکه مفهوم هومیوستازی 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 هومیوستازی توسط آقای والتر کنون^{۳۴} در سال ۱۹۲۶ مطرح شود، مفهوم آن در نیمه‌های قرن نوزدهم توسط یک زیست‌شناس فرانسوی به نام کلاود برنارد^{۳۵} مطرح شد.

برنارد در توصیف هومیوستازی - بدون اینکه از این واژه استفاده کند - چنین می‌گوید^{۳۶}:

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

^{۳۳} Homeostasis

^{۳۴} Walter Bradford Cannon

^{۳۵} Claude Bernard

^{۳۶} 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.

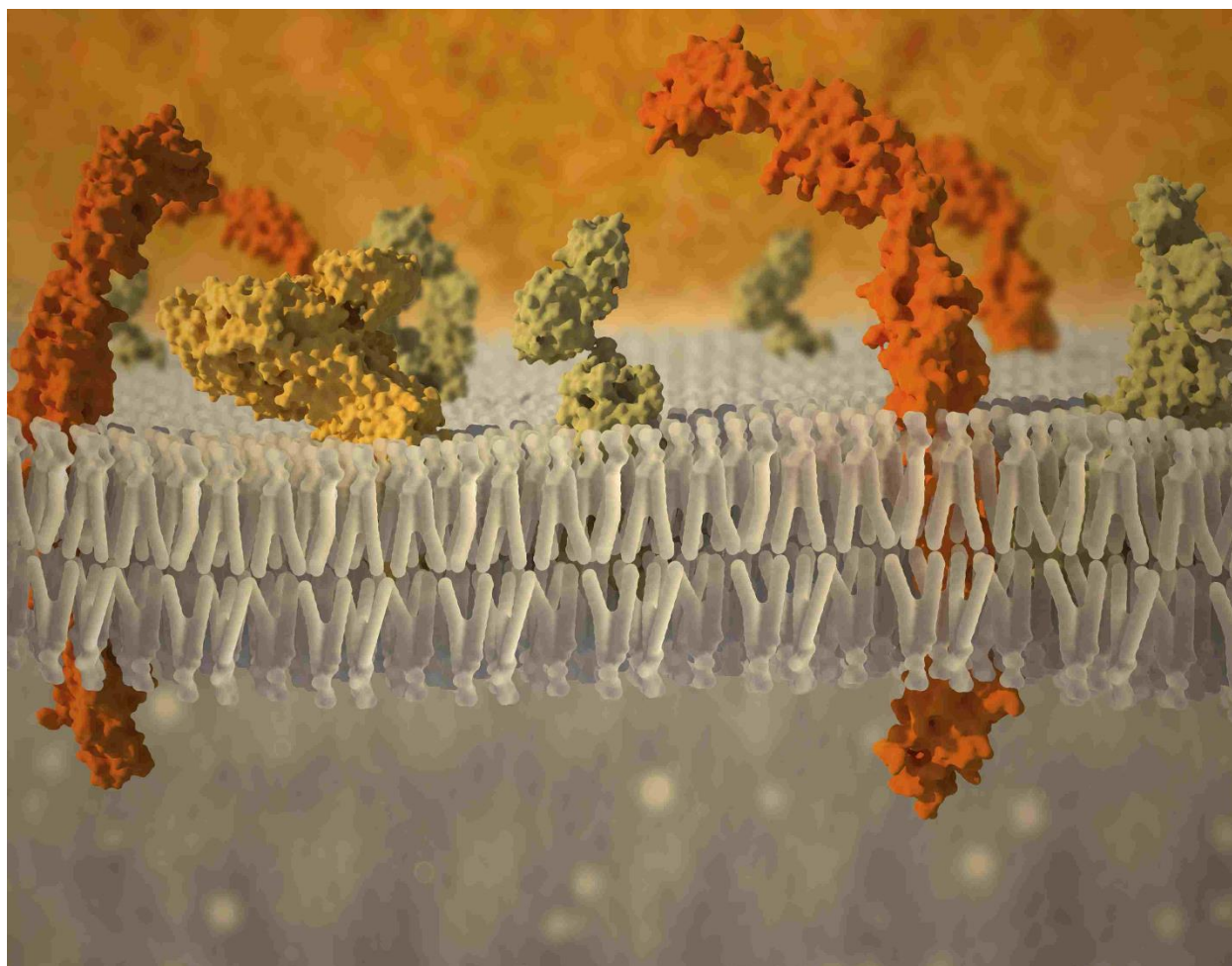
هومیوستازی را **هم ایستایی** هم ترجمه می‌کنند. با این حال فکر می‌کنم اگر بخواهیم از واژه‌های فارسی و عربی موجود، عبارت یا جمله‌ای معادلی برای آن بسازیم، شاید **حفظ تعادل پویای محیط داخلی یک سیستم** تعبیر مناسبی باشد. من در آینده گاهی این مفهوم را به اختصار، **تعادل پویا** خواهم نامید.

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^{۳۷} که یک دیواره‌ی بسیار نازک دولایه‌ای با ضخامتی در حدود ۷ یا ۸ نانومتر است، محیط داخلی خود را از بیرون جدا می‌کند.



تصویری از غشاء دولایه‌ای سلول

در اینجا به طور قطع می‌توان گفت که محیط درون سلولی^{۳۸} از محیط برون سلولی^{۳۹} 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.

^{۳۸} Intracellular

^{۳۹} 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.^{۴۰}

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^{۴۱} مورد اشاره قرار می‌دهد.

^{۴۰} 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.

^{۴۱} 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^{۴۲}. اسفنج دریایی و عروس دریایی نمونه‌ای از موجوداتی هستند که می‌توان با مشاهده‌ی آنها، شکل‌های اولیه‌ی هومیوستازی را مطالعه کرد^{۴۳}.

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.

^{۴۲} دایناسورها کمتر از ۳۰۰ میلیون سال قبل، روی کره‌ی زمین زندگی می‌کرده‌اند.

^{۴۳} 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^{۴۴}

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^{۴۵} 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^{۴۶}

^{۴۴} Coevolution

^{۴۵} Interaction-based evolution

^{۴۶} 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^{۴۷} 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.

^{۴۷} 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**^{۴۸} 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^{۴۹}:

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.

^{۴۸} 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.

^{۴۹} 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 اندازه‌گیری می‌کنید. اعتماد به نفس را به کدام یک از سلول‌هایش ربط می‌دهید؟ به کدام هورمون؟ به کدامیک از اجزای سیستم ایمنی بدن؟

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

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

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

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

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

نظم خودجوش^{۵۰}

نظم خودجوش یا نظم خودانگیخته نمونه‌ای از ویژگی‌های سطح بالاست که در سیستم‌های پیچیده ظهور می‌کند. البته این را هم می‌فهمیم و می‌دانیم و لازم به تأکید نیست که نظم همواره به ناظر احتیاج دارد^{۵۱}. به عبارت دیگر 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؟

天	天	天	天	天
地	地	地	地	地
玄	玄	玄	玄	玄
黃	黃	黃	黃	黃

آیا این علامت‌هایی که در تصویر روبرو 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.

^{۵۰} Spontaneous order

^{۵۱} مراقب باشید گرفتار غلط دیکته‌ای نشوید و ننویسید: نظم همواره به ناظم احتیاج دارد. چون اصلاً کل بحث ما این است که نظم می‌تواند ناظم داشته باشد و می‌تواند نداشته باشد.

نظم در ذات این‌ها نیست؛ در نگاه مخاطب است.^{۵۲} 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:

神體 養安 誠信 動恭
妻體 養安 誠信 動恭

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.

^{۵۲} حتماً جمله‌ی معروف آندره ژید در کتاب مانده‌های زمینی را خوانده یا شنیده‌اید: «ناتانائیل. ای کاش عظمت در نگاه تو باشد، نه در آن چیزی که بدان می‌نگری». با الهام از جمله‌ی او می‌توان حرف‌های این بخش را چنین خلاصه کرد: «ناظر عزیز. نظم در نگاه توست؛ نه در آن چیزی که بدان می‌نگری.»

حرف من این نیست که غیر از محدود 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. بیایید 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؟

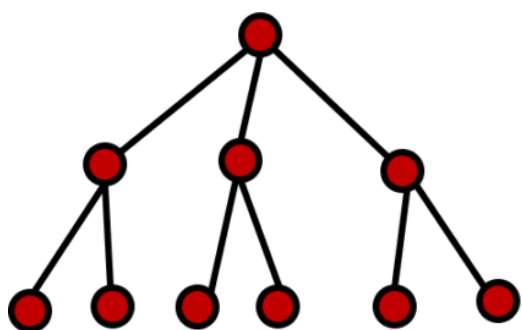
آیا نمی‌توان گفت که این حالت، برای گیاهان کاملاً مصداق بی‌نظمی است؟

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.

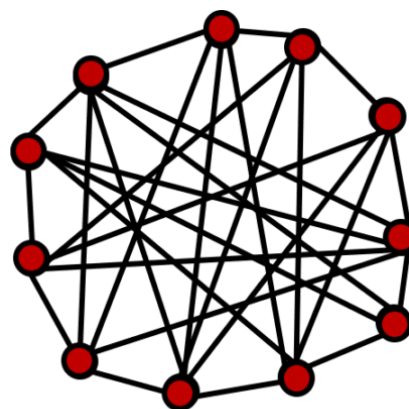
هستی زبان خودش را دارد و هر جا کلمات و نشانه‌هایش با فهم ما جور در آمد، آن را منظم می‌دانیم و هر جا نفهمیدیم آن را نامنظم در نظر می‌گیریم. چنین می‌شود که حاضر نیستیم زلزله را به اندازه‌ی طلوع خورشید، حاصل **نظم طبیعت** بدانیم. برایمان منطقی‌تر است بپذیریم که رفتار نادرستی در ما، این بی‌نظمی را ایجاد کرده تا اینکه بپذیریم زلزله، بخشی از نظم طبیعت است که ما نمی‌فهمیم. همه‌ی این مقدمات را گفتم که به این جمله برسم که می‌توان شکل‌گیری نظم در هر سیستم را در یک طیف بررسی کرد که یک انتهای آن را نظم از بالا به پایین یا نظم دیکته‌شده یا نظم سلسله‌مراتبی^{۵۳} تشکیل می‌دهد و انتهای دیگر طیف، همان چیزی است که می‌توان آن را نظم خودجوش یا نظم خودانگیخته یا نظم از پایین به بالا^{۵۴} نامید.



نظم دسته‌ی اول همان نوع نظم‌ی است که ناظم دارد. یک فرد یا یک گروه یا یک سیستم کنترل مرکزی در رأس آن قرار دارد و پیام‌هایی را به سطح پایینی ارسال می‌کند. هر سطح هم پیام‌ها را از لایه‌های بالاتر می‌گیرد و به شکل مناسب به لایه‌های پایین‌تر منتقل می‌کند و در نهایت یک هرم با سیستم کنترل و فرماندهی متمرکز شکل می‌گیرد.

شکل دوم نظم، از پایین به بالا به وجود می‌آید. هیچ مرکزی به طور مشخص در مورد آن تصمیم نمی‌گیرد. اما رفتارها و تصمیم‌ها و برخوردهای تک تک اعضا با یکدیگر در سطح بالاتر به شکل یک الگوی منظم - از دید ما به عنوان ناظر - ظهور می‌کند.

در چنین شرایطی ما نمی‌توانیم به سادگی مرکزیتی در سیستم بیابیم. اما از سوی دیگر شکل و رفتار سیستم به گونه‌ای است که ممکن است احساس کنیم نظم از بیرون سیستم به آن دیکته شده است.



رایج است که شکل این نوع سیستم‌ها را - برای اینکه در تقابل با نظم هرمی باشد -

به صورت شبکه نمایش می‌دهند. اما باید به خاطر داشته باشیم که **نظم خودجوش** به هر شکل و الگویی می‌تواند ظهور کند.

^{۵۳} Hierarchical order

^{۵۴} Spontaneous order



توده‌ی مورچه‌ها و موریان‌هایی که با هم یک لانه‌ی بزرگ می‌سازند، نمونه‌ای از نظم پایین به بالا است.^{۵۵} شکل‌هایی که ما در ابرها و در پرواز گروهی پرندگان می‌بینیم نیز، نمونه‌ی دیگری از نظم خودجوش یا نظم خودانگیخته محسوب می‌شود.

در مورد نظم خودجوش می‌توان حرف‌های بسیاری مطرح کرد و به زبان ریاضی هم به خوبی قابل تحلیل و بررسی است.

اما اگر بخواهم آن را برای خواننده در قالب یک تصویر، ترسیم کنم ترجیح می‌دهم از تصویر درخت زندگی^{۵۶} استفاده کنم.

نخستین بار که عکس این درخت را دیدم، احساس کردم بحث نظم خودجوش به شکلی زیبا در آن به تصویر کشیده شده است.

این درخت در طول زمان، به شکلی شگفت‌انگیز بین دو توده‌ی خاک معلق مانده و به نوعی در آن‌ها چنگ انداخته و آب را از طریق آنها می‌مکد و دریافت می‌کند و مدت‌هاست به زندگی خود ادامه می‌دهد.



اینکه این درخت چگونه در این وضعیت قرار گرفته و چند دهه قبل، چه شده که بخشی از خاک زیر آن شسته شده و رفته است، قصه‌ای است که به کار ما نمی‌آید.

اما آنچه برای ما مهم است این نکته است که تک تک سلول‌های درخت نمی‌دانسته‌اند که چه می‌کنند. آنها بر اساس قوانینی ساده‌ی خود که تلاش برای جذب آب و مواد غذایی و املاح است، رشد می‌کنند و تارهای کشنده‌ی خود را در امتدادی که

^{۵۵} برخی فکر می‌کنند ملکه مورچه‌ها و موریان‌ها در سازمان‌دهی و ساختاریخشدن به کل مجموعه نقش دارد. اما سالهاست می‌دانیم که وظیفه‌ی ملکه صرفاً زاد و ولد است و عملاً احاطه یا اطلاعی از وضعیت کلی مجموعه و ساختار آن ندارد. اگر ملکه‌ی یک توده مورچه را بردارید یا بکشید، در بلندمدت به خاطر نبودن زاد و ولد، جمعیت آن گروه کم می‌شود؛ اما رفتار کلی مجموعه همچنان هوشمندانه باقی می‌ماند و نظم خودجوش موجود در آن حفظ می‌شود.

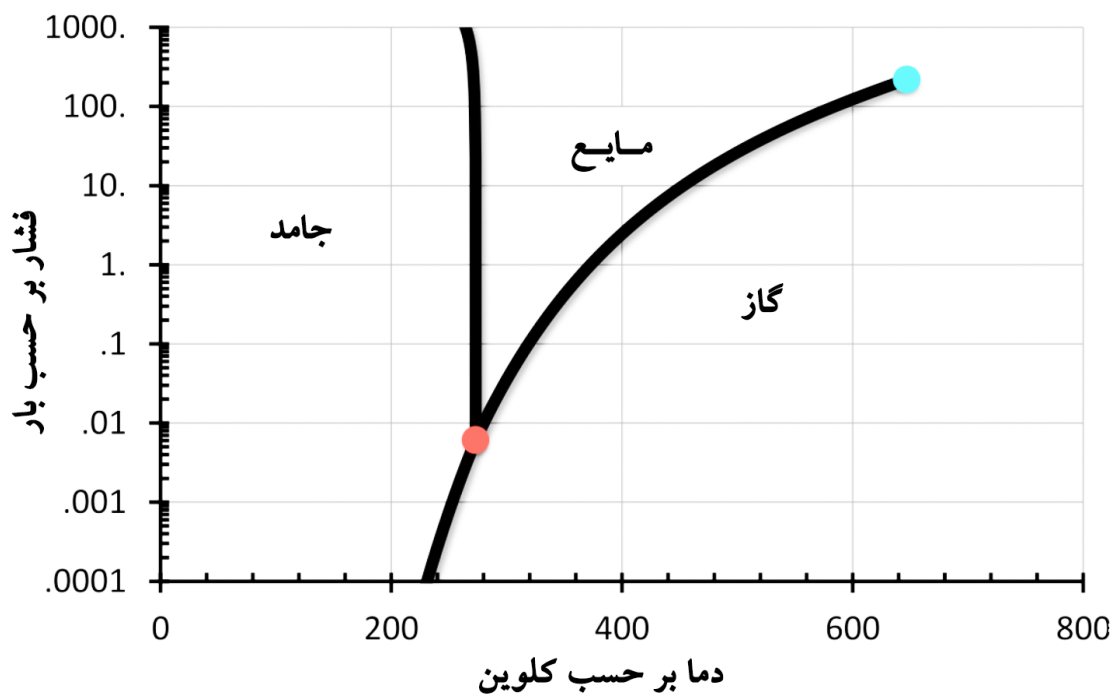
^{۵۶} این درخت در ساحلی به نام Kalaloch در واشنگتن قرار دارد.

مناسب‌تر می‌بینند به پیش می‌برند. سلول قاعداً تصویری ذهنی از کل درخت ندارد و حتی نمی‌داند که املاح و مواد غذایی را با چه هدفی و برای چه کاری جستجو و جذب می‌کند.

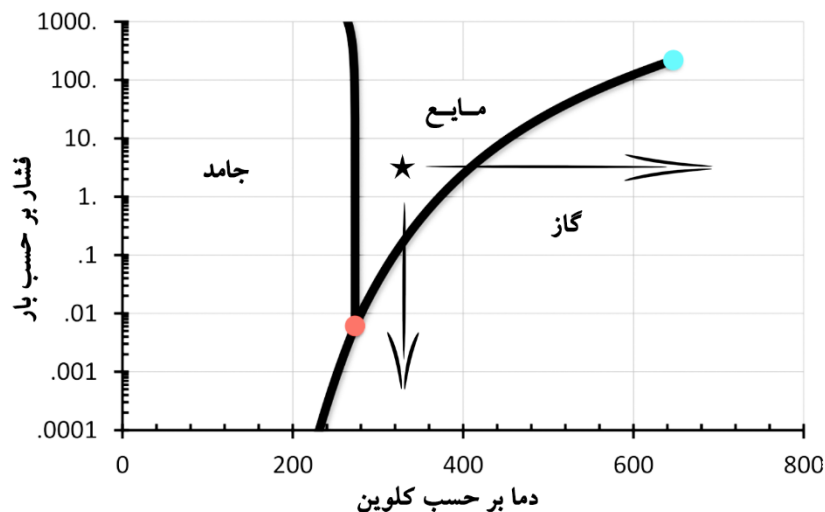
اما آنچه ما از بیرون در مواجهه با کل سیستم می‌بینیم، یک نظم شگفت‌انگیز است. حتی اگر طی یکصد سال، مثلاً دویست یا سیصد فریم عکس از این درخت بیندازیم و آنها را در قالب یک فیلم چند ثانیه‌ای ببینیم، به وضوح می‌توانیم حس کنیم که درخت هراسان از اینکه زیر پایش خالی شده، به این سو و آن سو چنگ می‌اندازد و می‌کوشد جان خود را حفظ کند. همان چیزی که باعث شده مردم محلی آن را **درخت زندگی** بنامند. حال آنکه می‌دانیم چیزی به نام **درخت** وجود ندارد و این نامی است که ما بر مجموعه‌ای از سلول‌ها که در کنار هم هستند و هر یک صرفاً به تعامل با همسایگان خود مشغولند.

البته برای درک **نظم خودجوش**، ترمودینامیک می‌تواند نقطه‌ی شروع بهتری - در مقایسه با درخت و جنگل - باشد. شاید برای شما جالب باشد که یکی از اولین چیزهایی که بولتزمن را نیز به سمت پیچیدگی و سیستم‌های پیچیده هدایت کرد، **نظم خودجوشی** است که هنگام **تغییر فاز در گازها و سیالات** مشاهده می‌شود.

احتمالاً از درس‌های دبیرستان و دانشگاه، **نمودار فاز^{۵۷} آب** را به خاطر دارید. در نمودار فاز، ما دو محور عمودی و افقی داریم که یکی به فشار و دیگری به دما اختصاص یافته است. به ازاء هر دما و هر فشار می‌توانید در این نمودار ببینید که آب در چه فازی قرار دارد: مایع است؟ جامد (یخ) است؟ یا به گاز (بخار) تبدیل شده است؟



^{۵۷} Phase diagram



همچنین اگر تغییراتی در پارامترهای فشار و دما به وجود بیاید، با استفاده از این نمودار می‌توانید تشخیص دهید که آیا تغییری در فاز آب به وجود خواهد آمد یا خیر.

به عنوان مثال، آب در نقطه‌ای که با ستاره مشخص شده، در فاز مایع قرار دارد. اگر دمای آب را کمی افزایش دهید (حرکت به سمت راست) تغییری در فاز آب ایجاد نخواهد شد. اما در مرزی که با خط ضخیم سیاه رنگ مشخص شده، ناگهان فاز آن به گاز تغییر می‌کند.

به شکل مشابه، با کاهش فشار هم ابتدا تغییر فاز روی نخواهد داد و پس از مدتی (زمانی که فشار حدوداً به یک‌دهم بار می‌رسد) آب تبخیر خواهد شد.

آب - بسته به اینکه در چه فشاری باشد - در دمای مشخصی یخ می‌بندد و در دمای دیگری تبخیر می‌شود. انواع گازها هم - بسته به فشار خود - در دمای مشخصی به مایع تبدیل می‌شوند. **تغییر فاز** در یک نقطه‌ی مشخص روی می‌دهد. اگر مایعی فقط چند دهم درجه بالاتر از نقطه‌ی انجماد باشد، در همه‌ی نقاط دارای فاز مایع خواهد بود و در یک نقطه‌ی کاملاً مشخص، انگار دستوری صادر شده که بر اساس آن باید منجمد شود.

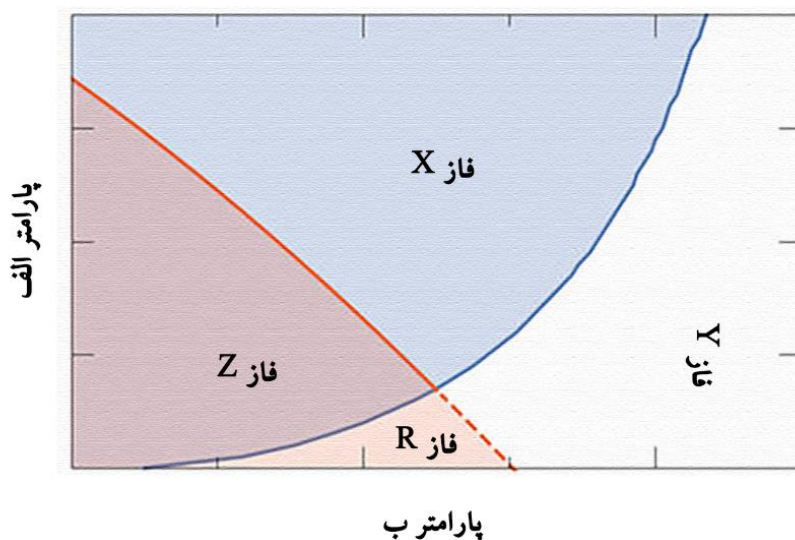
هیچ سیستم مرکزی در مجموعه‌ی مولکول‌های آب برای این یخ‌بندان یا ذوب شدن و به تعبیر دقیق‌تر **تغییر فاز** وجود ندارد. آنچه اتفاق می‌افتد یک **نظم خودجوش** است که تک تک مولکول‌ها در آن نقش دارند. هر یک به تغییری که در **محیط** روی داده پاسخ می‌دهند و آنچه در نهایت می‌بینیم تغییر فاز ماده است.

اگر قصد دارید پیچیدگی و رابطه‌ی وضعیت‌های خُرد و کلان^{۵۸} را به خوبی درک کنید، آب و تغییر فاز آن نقطه‌ی ارزشمندی است که نباید به سادگی از آن عبور کنید. حتی بد نیست کمی با نمودار فاز آب، سرگرم شوید و مختصات نقطه‌های مختلف آن را بررسی کنید.

^{۵۸} منظور همان Micro-state و Macro-state است.

ویژگی دیاگرام فاز این است که هم محوره‌های آن و هم سه فاز مایع و جامد و گاز در وضعیت کلان تعریف می‌شوند و در سطح خرد معنا ندارند. هیچ مولکولی نمی‌تواند برای خود دما یا فشاری را تعریف یا تعیین یا اعلام کند.

برای اینکه بتوانم اهمیت این موضوع را بهتر مشخص کنم، بیاید به این مثال فکر کنیم:



دیاگرام فاز اینستاگرام یا تلگرام

فرض کنیم شما به جای اینکه آب‌شناس باشید، تلگرام‌شناس یا اینستاگرام‌شناس هستید. کل دانش آقا یا خانم آب‌شناس در حدود دو قرن پیش این بود که می‌دانست مجموعه چند میلیون یا چند میلیارد مولکول H_2O بسته به دو پارامتر (فشار و دما) می‌تواند سه فاز مختلف داشته باشد (یخ / آب / بخار).

در دنیای امروز ما هر یک از کاربران اینستاگرام (یا تلگرام) مانند یک مولکول هستند. هر یک از این مولکول‌ها با تعدادی مولکول دیگر در ارتباط هستند. ما هرگز درکی از کل سیستم نداریم. حتی نقاط دورتر سیستم را هم از طریق دوستان یا دوستانِ دوستانِ خود یا دوستانِ دوستانِ دوستانِ خود درک می‌کنیم. درست همان‌طور که یک مولکول آب، کل آب را از طریق مولکول‌های اطراف یا مولکول‌های اطرافِ مولکول‌های اطرافِ خود درک می‌کند. البته این درک می‌تواند کاملاً چند لایه و عمیق باشد. اما در ذات ماجرا که ما جهان را به واسطه‌ی اطرافیان خود تجربه می‌کنیم، خللی ایجاد نمی‌کند.

فرض کنید بتوانیم دو پارامتر الف و ب پیدا کنیم که برای کل شبکه قابل تعریف است (و برای هر یک از ما به تنهایی، نه معنا دارد و نه مصداق؛ درست مثل دما و فشار). همچنین بتوانیم رفتار کل شبکه را به چهار رفتار کاملاً متفاوت (مثلاً R و X و Y و Z) تقسیم و طبقه‌بندی کنیم.^{۵۹}

همان قدر که جیمز وات توانست با شناخت فازهای مختلف آب و طراحی موتور بخار، موتور محرک جهان جدید باشد، شناخت این ماده‌ی جدید هم می‌تواند ما را به سطح بالاتری از درک جهان اطراف و تسلط بر آن برساند.^{۶۰}

اما باید به خاطر داشته باشیم که نظم خودجوش همیشه کاملاً توزیع شده نیست.

گاه نظم خودجوش می‌تواند در بخش‌هایی از سیستم خوشه‌ها و ساختارهایی به وجود بیاورد که بعدها ما آن را با مرکز فرماندهی اشتباه بگیریم.

مثلاً باید به خاطر داشته باشیم که این ملت‌ها بودند که در قالب یک نظم خودجوش دولت‌ها را خلق کردند. اگر چه امروز دولت بخشی از استقرار نظم در ساختارهای اجتماعی و سیاسی را در اختیار دارد، اما دولت قبل از مردم به وجود نیامده است.^{۶۱} به شکل مشابهی می‌توانیم همین مثال را در مورد نهادهای بین‌المللی مثل سازمان ملل متحد مطرح کنیم. شاید اگر امروز تصویری از جهان ترسیم کنیم، بخشی از قدرت نظم‌دهنده‌ی جهان در اختیار نهادهای مثل سازمان ملل باشد. اما نباید فراموش کنیم که این سازمان ملل نبوده که ملل را به وجود آورده است، بلکه ملت‌ها بوده‌اند که سازمان ملل را ساخته‌اند. بنابراین حتی برخی از ساختارهای بسیار منسجم هم نمونه‌ای از نظم خودانگیخته محسوب می‌شوند.

^{۵۹} در فصل‌های آینده‌ی کتاب، وقتی به مباحث ریاضی Phase-space برسیم، خواهیم دید که تعریف فاز برای شبکه‌های اجتماعی کاملاً مشابه هر سیستم پیچیده‌ی دیگری امکان‌پذیر است؛ اگر چه نموداری که در اینجا ترسیم کردم فرضی است و در دیگرام فاز واقعی شبکه‌های اجتماعی، می‌توان پارامترها و فازهای بیشتری تعریف کرد. دیگرام فاز برای مغز، سلول‌های سرطانی، سیستم ایمنی بدن، شبکه‌های اجتماعی، حیات در موجودات، تکثیر ویروس‌ها و بیماری‌ها و نیز ساختار اجتماعی قابل تعریف و محاسبه است. این محاسبه‌ها به هیچ وجه ذهنی نیستند و دقیقاً در حد محاسبات فیزیک و ترمودینامیک، بر پایه‌ی مفاهیم عینی ریاضی استوارند. حتی خواهیم دید زمانی که عکسی پیش روی ما قرار می‌گیرد و سپس آن عکس را برمی‌داریم و تصویر دیگری را نگاه می‌کنیم، تغییر ایجاد شده در مغز را می‌توان در قالب تغییر فاز محاسبه و تحلیل کرد.

^{۶۰} اگر چه برای ما انسان‌ها شاید کمی سخت باشد، اما باید بپذیریم که نقش ما در این شبکه‌ها اگر چه پیچیده‌تر از نقش مولکول در آب به نظر می‌رسد، اما عمیق‌تر نیست. مرگ هیچ‌یک از ما یا بستن اکانت هیچ‌یک از ما، فاز کلی هیچ‌یک از شبکه‌های اجتماعی را تغییر نمی‌دهد. درست همان‌گونه که حذف یک یا چند مولکول از آب، باعث تغییر فاز آن نخواهد شد. همچنین حتی فیلتر شدن یک شبکه اجتماعی در یک کشور هم، تا حد زیادی شبیه جدا کردن یک سطل آب از استخر آب و دور ریختن آن است. حجم آب استخر کاهش می‌یابد، اما نه یخ می‌بندد و نه به بخار تبدیل می‌شود.

^{۶۱} من اینجا واژه‌ی ملت را تقریباً معادل مردم به کار برده‌ام و به نظرم در ادبیات عمومی اشکالی هم ندارد. اما قاعدتاً کسانی که اهل دقت باشند این ایراد را از من خواهند گرفت که اتفاقاً ملت‌ها بعد از دولت‌ها به وجود آمده‌اند. دولت به مفهوم مدرن آن، نمی‌تواند بر اقوام حاکمیت داشته باشد و نظم را حفظ کند. باید مفهومی شکل بگیرد که فراتر از قوم و قبیله و شهروند و مفاهیم مشابه آنها باشد. دولت‌ها به مردم خود ملت می‌گویند تا آنها را از مردمی که تحت نظارت دولت‌های دیگر هستند جدا کنند و بهتر و ساده‌تر با آنها تعامل داشته باشند.

اگر می‌خواهید سمت دیگر طیف را در نظر بگیرید، به یک کسب و کار فکر کنید که فردای روز تأسیس با آگهی و اطلاع‌رسانی عمومی، نیروی انسانی خود را جذب می‌کند. در اینجا ابتدا نظم کلی تعریف شده و ساختار هم ترسیم شده است؛ سپس افراد و اجزائی یافته می‌شوند تا هر کدام جا و جایگاهی را در این سیستم پر کنند.

بنابراین، اجازه بدهید طیفی را که در ابتدای این بحث به آن اشاره کردم به صورت زیر ترسیم کنم:

نظم از بالا به پایین



نظم خودانگیخته



البته بحث **نظم خودجوش** می‌تواند به تنهایی موضوعی برای یک یا چند کتاب باشد و آنچه در اینجا به صورت مختصر اشاره کردم، صرفاً مثال و توضیحی در ذیل موضوع **ظهور ویژگی‌ها** یا **Emergence** بود و در آینده باید آن را به شکلی دقیق‌تر مورد بحث قرار دهیم.^{۶۲}

دو فضای فکری متفاوت برای مواجهه پیچیدگی

می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده، **ابهام علی^{۶۳}** 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.

^{۶۲} اگر فرصتی که در اختیار من قرار دارد ادامه پیدا کرد، باید جایی در ادامه‌ی کتاب به فردریش هایک (Fredrich Hayek) اشاره کنم. این اقتصاددان ارزشمند برنده‌ی جایزه‌ی نوبل، از جمله کسانی است که به نقش نظم خودجوش توجه زیادی داشته و مطالعات و نظریه‌هایش سهم بسیار مهمی در توسعه‌ی اقتصاد بازار داشته‌اند. البته قبل از او هم نویسندگان و متفکران بسیاری مانند فرگوسن و آدام اسمیت بودند که به این بحث پرداختند. اصلاً تمام آنچه آدام اسمیت در کتاب ثروت ملل به عنوان **دست نامرئی بازار** مطرح می‌کند، همین **نظم خودجوش از پایین به بالا**ست که ما در اینجا اشاره کردیم. به هر حال، با وجودی که فردریش هایک نخستین کسی نبود که به این نکته توجه کرد، اما بیان ساختاریافته‌ی آن و خصوصاً توجه به مفهوم پیچیدگی باعث می‌شود که به او احترام خاصی بگذاریم. اگر چه در کتاب‌های پیچیدگی کمتر به این اقتصاددان ارزشمند اشاره می‌شود و جایگاهش در خور نقش ارزشمندی که داشته نیست.

^{۶۳} Causal Opacity

نگاهی به میتولوژی یونانی^{۶۴}، 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^{۶۵}، مادر زمین سپرده است و جنگ‌ها را به آرس.

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

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

^{۶۴} 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 مانا تر و شاخص‌تر از جنبه‌های دیگرش بوده است.

شواهد تاریخی در این زمینه کم نیست. مطالعات کسانی مانند بوعلی در کتاب شفا، مشخصاً نشان می‌دهد که او هم در آن زمان، در حوزه‌های متعدد (از جمله منطق) منبعی ارزشمندتر از اندیشه‌ی یونانی به عنوان زیربنای مدل فکری خود نیافته و این مسئله را نیز صریحاً مورد 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.

^{۶۵} دیمتر (Demeter) یا The Mother، الهه‌ی مادر است. تشابه آوایی بین مادر در زبان ما و دیمتر را به سادگی می‌توان حس کرد.

شبهه 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. آرتیمیس 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 مَثَل افلاطونی دید، برای ساده کردن یک سیستم پیچیده، پیچیدگی‌ها را به سیستم دیگری منتقل می‌کرده است.

افلاطون، با استعاره‌ی غارنشینان و سایه، اگر چه تا حد زیادی رقص سایه‌های روی دیوار را توضیح داد و احتمالاً از این کار احساس غرور هم کرده است، اما حالا ما را با موجودات دیگری بیرون غار مواجه کرد که نه‌تنها، 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 منطق‌پوین نسل اول مسیحیت، او در حد یک مسیحی که چند قرن قبل از مسیح می‌زیسته، مورد اشاره و احترام است.^{۶۶}

روبروی این نگرش فرافکنانه^{۶۷} یونانی، نگرش فروکاهنده^{۶۸} یونانی 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.

^{۶۶} Dover, K. J., & Burstall, C. (1981). *The Greeks* (p. 102). Austin: University of Texas Press.

^{۶۷} معمولاً ما فرافکنی را معادل Projection در نظر می‌گیریم. اما لطفاً آن را در اینجا به عنوان متضاد فروکاهیدن در نظر بگیرید. فکر می‌کنم توجیهات متعددی وجود دارد که در انگلیسی هم Inductionism به عنوان متضاد Reductionism مورد استفاده قرار بگیرد. اما متأسفانه الان بیشتر از Antireductionism و Holism استفاده می‌شود که می‌تواند اختلال معنایی جدی به وجود بیاورد. به هر حال، در فضای این متن، فکر می‌کنم فرافکنی برای تبیین نگرش میتولوژیک، توصیف خوبی باشد.

^{۶۸} Reductionist

برای کسانی که فرصت مطالعه‌ی مستقیم آثار کلاسیک یونان را ندارند، مطالعه‌ی کارهای جاناتان بارنز^{۶۹} می‌تواند بسیار مفید باشد. توضیحات بارنز در مورد دموکریتوس و افکار او شگفت‌انگیز است.^{۷۰} دموکریتوس در قرن پنجم قبل از میلاد، کتاب‌های متعددی تالیف کرده که از جمله‌ی آنها می‌توان به درباره‌ی طبیعت انسان، درباره‌ی جسم (در دو جلد)، درباره‌ی حس‌های ما، درباره‌ی طعم‌ها، درباره‌ی بوها، درباره‌ی گیاهان و درباره‌ی حیوانات اشاره کرد.

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

دموکریتوس معتقد بود که جهان از اتم و تهی‌ذرات^{۷۱} ساخته شده است. او می‌گفت تمام عالم هستی از اتم ساخته شده است. اتم‌هایی که در آشوب^{۷۲} به سر می‌برند و گاهی به هم برخورد می‌کنند و مجموعه‌های بزرگتر را می‌سازند. او زمین و همه‌ی زمینیان را حاصل این برخوردها و اتصالات اتم‌ها می‌دانست.

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

حتی قبل از اینکه بارنز برای ما توضیح بدهد، می‌توانیم موضع افلاطون را در مقابل دموکریتوس حدس بزنیم. افلاطون می‌گفت که 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^{۷۳}.

^{۶۹} Johnathan Barnes

^{۷۰} Barnes, J. (1987). *Early Greek philosophy* (pp. 203-253). Harmondsworth, Middlesex, England: Penguin Books.

^{۷۱} 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.

^{۷۲} خائوس یا Chaos

^{۷۳} 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.

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 پردازیم. اما فعلاً بد نیست در حد چند جمله به آن اشاره کنم که نگرش بولتزمن، به نوعی منتهی به پذیرش این دیدگاه می‌شد که زمان یک‌سویه است و صرفاً به جلو می‌رود و به عقب باز نمی‌گردد.^{۷۴} در آن زمان، فرض بر این بود که یک طرفه بودن مسیر حرکت زمان، حتی اگر هم قابل بحث و دفاع باشد، بحثی فلسفی است و با اصول اولیه‌ی فیزیک قابل استخراج و استنتاج نیست. کافی است مروری به کتاب پاول ناهین^{۷۵} داشته باشید تا ببیند در همان سالها، ایده‌ی استفاده از ماشین زمان برای سفر به گذشته چقدر پرترفدار 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.^{۷۶}

^{۷۴} اصطلاح Arrow of time یا پیکان زمان، آن زمان در توصیف این پدیده مطرح شد و رواج یافت.

^{۷۵} Nahin, P. J. (1993). Time machines: time travel in physics, metaphysics, and science fiction (pp. 54-66). New York, NY: American Institute of Physics.

^{۷۶} 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^{۷۷} کتابی در زمینه‌ی مرورِ تاریخِ تحولِ نگرشِ علمی نوشت که خود، به نقطه‌ی عطفی در تاریخِ تحولِ نگرشِ علمی تبدیل شد.

کتاب او **ساختار انقلاب‌های علمی**^{۷۸} 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^{۷۹}.

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.

^{۷۷} Thomas Kuhn

^{۷۸} Kuhn, T. S. (1970). The structure of scientific revolutions. Chicago: University of Chicago Press.

^{۷۹} 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.^{۸۰}

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**^{۸۱} 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.

^{۸۰} 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.

^{۸۱} 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، راه‌حل 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.^{۸۲}

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.

^{۸۲} 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**^{۸۳} 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**^{۸۴} 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^{۸۵} 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؟

^{۸۳} Crisis

^{۸۴} Incommensurability

^{۸۵} 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^{۸۶} 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، گراف 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

^{۸۶} Francis Bacon

زمان خودش^{۸۷} 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**^{۸۸} تعریف کرد. تصمیم گرفت در شش مجلد، همه‌ی آنچه را که برای نوسازی اندیشه‌ی بشر لازم بود، گردآوری، تالیف و تدوین کند^{۸۹}. 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^{۹۰} است. در نگاه اول، شاید نام این کتاب، ادای احترامی به ارسطو به نظر برسد. اما وقتی کتاب را می‌خوانیم، می‌بینیم

^{۸۷} 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.

^{۸۸} Great Renewal

^{۸۹} 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 تاکید می‌کند، می‌توان آن را به نوعی با نگرش افلاطون که مدینه‌ی فاضله‌ی خویش را در اختیار فیلسوفان قرار می‌دهد مقایسه کرد.

^{۹۰} 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^{۹۱}.

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 فراگیری بیابیم و به تدریج یک نظریه‌ی علمی را شکل دهیم.

یکی از اصطلاحاتی که بیکن به آن علاقه‌ی زیاد دارد، اندیشیدن آرزومندانه^{۹۲} 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.

^{۹۱} 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.

^{۹۲} Wishful thinking

یکی دیگر از محورهای کلیدی کتاب ارغنون جدید، بحث **سوگیری‌های ذهنی** است. البته فرانسیس بیکن از اصطلاح سوگیری استفاده نمی‌کند. او اصطلاح بُت^{۹۳} 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 فرانسیس 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**^{۹۴} 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**^{۹۵} 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.

^{۹۳} Idol

^{۹۴} Idols of the cave

^{۹۵} 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^{۹۶}.

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^{۹۷} نیز توجه دارد و یادآوری می‌کند که مفهوم کلماتی مانند سبک، سنگین، کمیاب و چگال، به ادراک انسان‌ها بستگی دارد.

بت‌های نمایش^{۹۸}، 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،

^{۹۶} Means of exchange

^{۹۷} Objective vs. Subjective words

^{۹۸} 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^{۹۹} 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.

^{۹۹} Method

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.^{۱۰۰}

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.^{۱۰۱}

^{۱۰۰} بیکن هم، در کتاب خود اشتباهات علمی متعددی دارد. مثلاً شاید برایتان جالب باشد که وقتی از حرارت سخن می‌گویید، 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.

^{۱۰۱} 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 فرانسیس 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.

گالیله: 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 گالیله)

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

گالیله (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، گالیله هم جزو نامزدهای اصلی دریافت این عنوان خواهد بود.^{۱۰۲}

گالیله 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.

^{۱۰۲} متأسفانه جامعه‌ی عمومی در ایران و جهان، گالیله را بیشتر به واسطه‌ی کارهای هنری مثل نمایشنامه‌ی زندگی گالیله (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 شُنیه) 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 گالیله 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^{۱۳}. شیوه‌ای که گالیله مورد استفاده قرار داد را می‌توان یکی از نخستین نمونه‌های **تجربه‌های ذهنی**^{۱۴} 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.

^{۱۳} 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.

^{۱۴} 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 رفت. بلکه از روش‌های تجربی ساده‌تر و قابل اتکاتر استفاده کرد.^{۱۰۵} 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.^{۱۰۶} به آن توانایی بالقوه انرژی^{۱۰۷} می‌گوید. لغت انرژی^{۱۰۸} 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 انتلکیا^{۱۰۹} 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.

^{۱۰۵} 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 لاف‌ل غیردقیق) بوده است.

^{۱۰۶} A., Waterfield, R., & Bostock, D. (2008). Physics. Oxford: Oxford University Press.

^{۱۰۷} Energeia

^{۱۰۸} Energon

^{۱۰۹} 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^{۱۱۰} 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^{۱۱۱}.

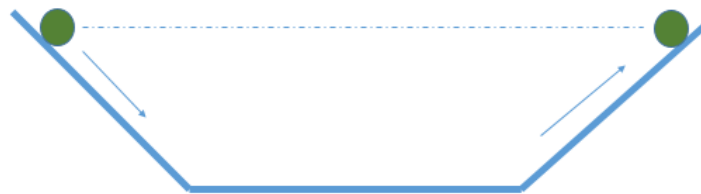
با مطالعه‌ی آثار توماس آکویناس می‌توانیم اهمیت و جایگاه ارسطو را در جهان‌بینی کلیسا بهتر و بیشتر درک کنیم. آکویناس به ارسطو احترام می‌گذارد. البته احترامی که به ارسطو می‌گذارد به هیچ‌وجه با احترام شگفت‌انگیزی که ابن‌سینا برای ارسطو قائل است قابل مقایسه نیست. با این حال، بارها از او با نام و صفت فیلسوف 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^{۱۱۲}.

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:



^{۱۱۰} Thomas Aquinas

^{۱۱۱} 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.

^{۱۱۲} در ترجمه‌های انگلیسی کارهای ارسطو هم، Entelecheia را به Actualization ترجمه می‌کنند.

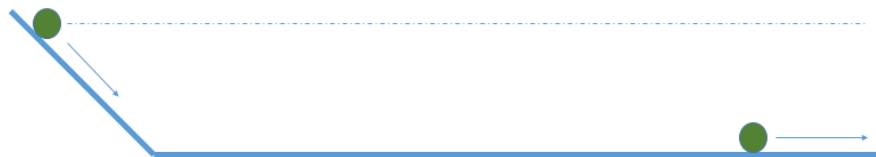
گالیله می‌دید وقتی گلوله‌ای را از بالای سطح شیب‌دار رها می‌کند و آن گلوله شتاب می‌گیرد و به سطح افقی می‌رسد، دوباره تا همان ارتفاع بالا می‌رود (او اصطکاک‌ها را کم می‌کرد و گوشه‌ها را هم بر خلاف آنچه من ترسیم کرده‌ام تیز نمی‌ساخت).

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^{۱۱۳} کوپرنیک را به عنوان یک واقعیت قطعی قبول داشت.

^{۱۱۳} 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.^{۱۱۴} طبیعتاً وقتی مدل کوپرنیک را به عنوان یکی از مدل‌ها می‌پذیریم، یکی دیگر از مدل‌ها، مدل پیشنهادی کلیسا خواهد بود.^{۱۱۵}

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.^{۱۱۶}

^{۱۱۴} 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».

^{۱۱۵} 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.

^{۱۱۶} Finocchiaro, M. A., Galilei, G., & Galilei, G. (1991). *The Galileo affair: a documentary history*. New York: Leslie B. Adams, Jr.

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^{۱۱۷} می‌نامند و فرقه‌ی دیگری که دومینیک^{۱۱۸} بودند و تفکر سستی‌تری داشتند.

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^{۱۱۹} 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^{۱۲۰}.

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.

^{۱۱۷} Jesuits

^{۱۱۸} Dominican

^{۱۱۹} Inquisition

^{۱۲۰} 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.

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^{۱۲۱} 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.

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^{۱۲۲}. 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 دکتترین 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**^{۱۲۳} 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^{۱۲۴}.

^{۱۲۱} Robert Bellarmine

^{۱۲۲} متن نامه را به سادگی با جستجو در اینترنت می‌توانید بیابید.

^{۱۲۳} Galilei, G., Drake, S., Einstein, A., & Sobel, D. (2013). *Dialogue concerning the two chief world systems: Ptolemaic and Copernican*. London: The Folio Society.

^{۱۲۴} 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.

در آن زمان، پاپ اربن هشتم^{۱۲۵} 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^{۱۲۶}.

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^{۱۲۷} نام دارد و از ارسطو و بطلمیوس دفاع می‌کند. شخصیت دیگر که کمی بی‌طرف به نظر می‌رسد، ساگردو^{۱۲۸} نام دارد و شخصیت سوم – که به گالیله نزدیک‌تر است و از کوپرنیک دفاع می‌کند – سالویاتی^{۱۲۹} 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 گنجانند. اما ترجیح داد جمله را در دهان سیمپلیچیو بگذارد.

ماجرای به همین جا 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.

^{۱۲۵} Pope Urban VIII

^{۱۲۶} جزر و مد، ممکن است به علت اراده‌ی خداوند باشد یا به علت گردش زمین یا هر دو.

^{۱۲۷} 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.

^{۱۲۸} Sagerdo

^{۱۲۹} Salviati

فقط کافی است به خاطر داشته باشید که جنبش پروتستان‌یسم 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 رَم 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.

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.^{۱۳۰}

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.^{۱۳۱} 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.^{۱۳۲}

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).

^{۱۳۰} Biagioli, M. (2006). *Galileo, courtier: practice of science in the culture of absolutism*. Chicago: Univ. of Chicago Press.

^{۱۳۱} 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.

^{۱۳۲} 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.

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.

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 گاليله، همزمان دوست و مهمان‌شان باشند.

از بیکن، حساسیت به روش را بیاموزند و برای بهبود روش‌ها تلاش کنند و از گاليله، 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 ژئوس می‌گوید، چنین روایت می‌کند که: ژئوس، 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.^{۱۳۳}

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.^{۱۳۴}

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.

^{۱۳۳} David, F. N. (1998). *Games, gods and gambling: a history of probability and statistical ideas*. Mineola, N.Y: Dover.

^{۱۳۴} 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.^{۱۳۵}

به هر حال، داستان تاس‌ها و آدم‌ها^{۱۳۶} 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^{۱۳۷} نجیب‌زاده‌ی فرانسوی از پاسکال پرسید^{۱۳۸}. 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.

^{۱۳۵} Ferentzy, P., & Turner, N. E. (2013). *The History of Problem Gambling: Temperance, Substance Abuse, Medicine and Metaphors*. New York: Springer.

^{۱۳۶} 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.

^{۱۳۷} Antoine Gombaud

^{۱۳۸} 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^{۱۳۹}، 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^{۱۴۰}.

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^{۱۴۱}.

^{۱۳۹} 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.

^{۱۴۰} Singh, S. (2009). *The code book: the science of secrecy from ancient Egypt to quantum cryptography*. Bridgewater, NJ: Distributed by Paw Prints / Baker & Taylor.

^{۱۴۱} 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^{۱۴۲}، دانشمندی که معاصر فرما و پاسکال بود با مطالعه‌ی آن نامه‌ها، توانست ساختار بهتر و کامل‌تری به این بحث بدهد^{۱۴۳} 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^{۱۴۴}. 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.

^{۱۴۲} Christian Huygens

^{۱۴۳} Devlin, K. J. (2010). The unfinished game: Pascal, Fermat, and the seventeenth-century letter that made the world modern. New York (NY): Basic Books.

^{۱۴۴} 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.^{۱۴۵} آنها روی تخته‌های گلی، تعداد هدایایی را که از نقاط مختلف امپراطوری دریافت می‌کرده‌اند، به شکل یک گزارش آماری به داریوش ارائه می‌کردند.^{۱۴۶}

^{۱۴۵} Kaplan, R. (2000). *The nothing that is: a natural history of zero*. Oxford: Oxford University Press.

^{۱۴۶} 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.^{۱۴۷} 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.^{۱۴۸}

اگر علوم طبیعی مانند فیزیک و ریاضی را علمی سخت^{۱۴۹} و علوم انسانی را علمی نرم^{۱۵۰} 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^{۱۵۱} و بدن سیاسی^{۱۵۲} 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.

^{۱۴۷} 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.

^{۱۴۸} Bacon, F., Spedding, J., Ellis, R. L., & Heath, D. D. (2011). The works of Francis Bacon. Cambridge: Cambridge University Press.

^{۱۴۹} Hard Science

^{۱۵۰} Soft Science

^{۱۵۱} Natual Body

^{۱۵۲} Political Body

البته به نظر می‌رسد توماس هابز هم که کتاب لویاتان^{۱۵۳} 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^{۱۵۴}.

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 گرانث در همان قرن هفدهم برویم.

لویاتان در دهه‌ی پنجم قرن هفدهم منتشر شده و کارهای جان گرانث^{۱۵۵} 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 گرانث 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^{۱۵۶} نام داشت. البته نام کامل کتاب، مشاهداتی طبیعی و سیاسی بر اساس سندهای مرگ و میر بود^{۱۵۷}.

گرانث 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

^{۱۵۳} 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 نظرم 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.

^{۱۵۴} Bunce, R. E. R. (2003). Francis Bacon, Thomas Hobbes, philosophy, and history (doctoral thesis).

^{۱۵۵} John Graunt

^{۱۵۶} Observations

^{۱۵۷} 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^{۱۵۸} به اطلاعات^{۱۵۹} بوده است.

دلم می‌خواهد در اینجا با وجودی که ممکن است گرفتار دام ناهمزمانی^{۱۶۰} 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.

^{۱۵۸} Data

^{۱۵۹} Information

^{۱۶۰} 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؟

گرانت، به سراغ معیارهایی رفت که در سطح کلان^{۱۶۱} تعریف می‌شدند، اما در سطح خُرد^{۱۶۲} 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 گرانت، 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^{۱۶۳} نقل می‌کند، این ریاضیدانان خدانشناس می‌خواهند خدا را هم به بند معادلات خویش بکشند^{۱۶۴}.

خصوصاً اینکه گرانت 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 گرانت، حاکم وقتی می‌تواند از سیاست‌های خُرد خود دفاع کند که آثار کلان این سیاست‌ها مثبت و قابل دفاع باشد.

^{۱۶۱} Macro-scale

^{۱۶۲} Micro-scale

^{۱۶۳} Ball, P. (2006). Critical mass: how one thing leads to another. New York: Farrar, Straus and Giroux.

^{۱۶۴} 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**^{۱۶۵} 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.^{۱۶۶}

^{۱۶۵} Political arithmetic

^{۱۶۶} 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^{۱۶۷}.

^{۱۶۷} 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.^{۱۶۸}

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.

^{۱۶۸} 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**^{۱۶۹}. 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^{۱۷۰}.

^{۱۶۹} 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.

^{۱۷۰} 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.^{۱۷۱}

«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.

^{۱۷۱} 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^{۱۷۲} 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^{۱۷۳}.

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.

^{۱۷۲} Locke, J., & Yolton, J. W. (1974). An essay concerning human understanding. London: Dent.

^{۱۷۳} 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^{۱۷۴} پرداخته. در دیگری به نقد استدلال‌های مبتنی بر عمل در شرایط واقعی^{۱۷۵} توجه کرده و در سومی به نقد قضاوت^{۱۷۶} پرداخته است^{۱۷۷}.

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.

^{۱۷۴} Critique of the pure reason

^{۱۷۵} Critique of the practical reason

^{۱۷۶} Critique of judgment

^{۱۷۷} 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 پراپتی 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 فارسی‌زبانان 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 نیوتون 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^{۱۷۸} 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.

^{۱۷۸} Computational Chemistry

از سوی دیگر، می‌توانید حدس بزنید که دو کلمه‌ی رایج در دوران نوجوانی و جوانی بولتزمن، **تکامل**^{۱۷۹} 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.

^{۱۷۹} 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^{۱۸۰}.

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؟

^{۱۸۰} 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**^{۱۸۱} – 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

^{۱۸۱} 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^{۱۸۲}:

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^{۱۸۳} و وضعیت کلان^{۱۸۴} 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).

^{۱۸۲} Broda, E. (1995). Ludwig Boltzmann: man, physicist, philosopher. Woodbridge (Conn.): Ox Bow Press.

^{۱۸۳} Microstate

^{۱۸۴} Macrostate

اصطلاح **سطح**^{۱۸۵} 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**^{۱۸۶} را کاملاً در خود پنهان کرده‌اند.

اما وقتی بولتزمن از **وضعیت کلان** و **وضعیت خرد** صحبت می‌کند، منظورش این نیست که گاز، **حاصل‌جمع** 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^{۱۸۷}. فقط کافی است به خاطر داشته باشیم که بولتزمن در سال ۱۹۰۶ خودکشی کرد و

^{۱۸۵} Level

^{۱۸۶} Hierarchy

^{۱۸۷} 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.

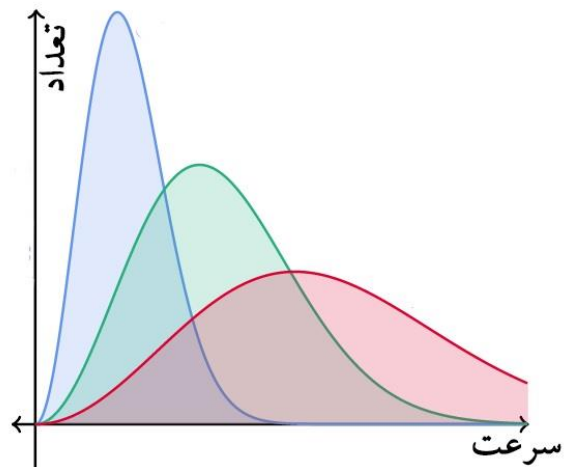
حالا می‌توانیم راحت‌تر در مورد مفروضات بولتزمن حرف بزنیم.

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.

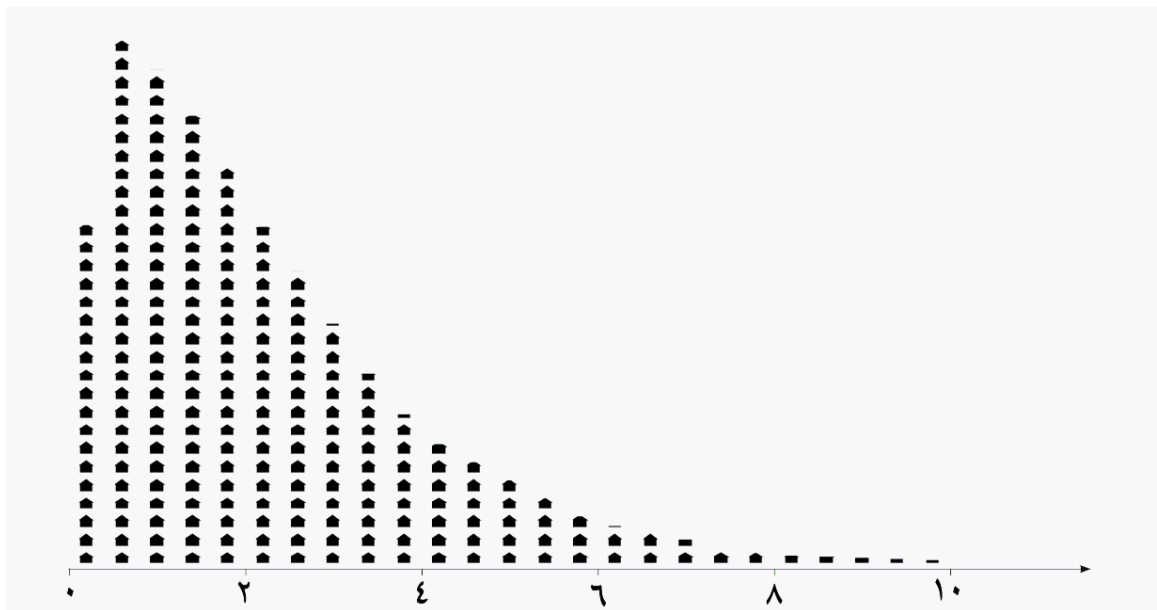
بسیار مهم است به این نکته توجه داشته باشیم که آنچه ما در توزیع بولتزمن-ماکسول می‌بینیم، خرده وضعیت یک سیستم است. نباید فکر کنیم حالا که اطلاعات همه‌ی مولکول‌ها را داریم، وضعیت کلان سیستم را هم می‌شناسیم.

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.^{۱۸۸}

^{۱۸۸} 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 دومیلیون 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^{۱۸۹} 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 لاقل 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.

^{۱۸۹} 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.^{۱۹۰}

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.^{۱۹۱} 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.

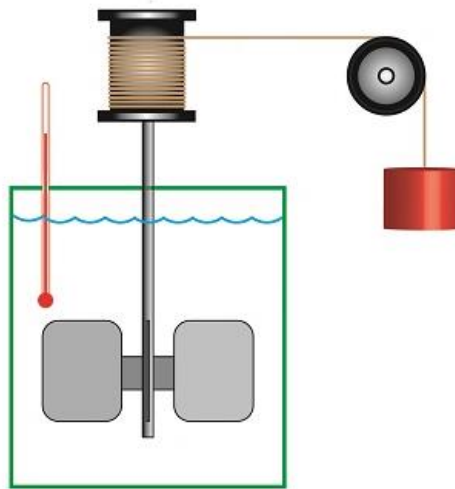
این ادعا، اگر ثابت می‌شد به آن معنا بود که گرما دقیقاً شکل دیگری از همان انرژی مکانیکی است که از زمان نیوتون در فیزیک محاسبه و استخراج می‌شده است.

^{۱۹۰} 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.

^{۱۹۱} 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.

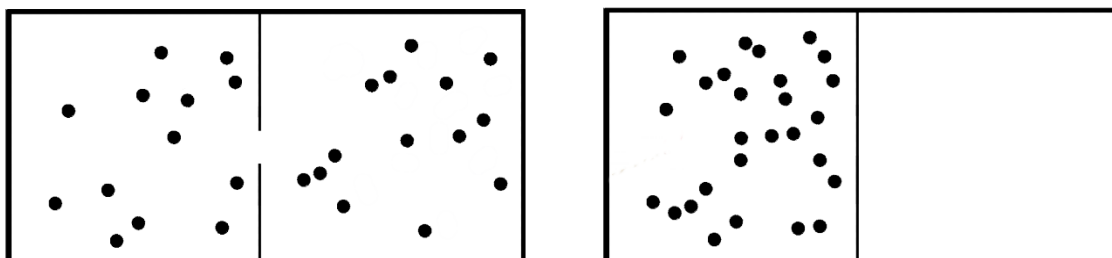
بیایید به کتری آبی که روی اجاق می‌جوشد، یا شکل رسمی‌تر و کاربردی‌تر آن یعنی موتور بخار فکر کنیم. اینها نمونه‌هایی واضح و مفید از تبدیل انرژی گرمایی به کار محسوب می‌شوند. البته قاعدتاً در مورد کتری آب، تنها اتفاقی که می‌افتد تکان خوردن درب کتری است. اما به هر حال، کتری و ماشین بخار، شفاف‌ترین مثال تبدیل 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^{۱۹۲} 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:

^{۱۹۲} 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.

کلاویوس 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^{۱۹۳}، کلاویوس 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.

^{۱۹۳} 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.

درباره مفهوم تصادفی بودن

بحث تصادفی بودن^{۱۹۴} 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^{۱۹۵} 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^{۱۹۶}؟ 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.

^{۱۹۴} Randomness

^{۱۹۵} Chaos theory

^{۱۹۶} 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؟^{۱۹۷}

^{۱۹۷} 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^{۱۹۸} 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

^{۱۹۸} 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^{۱۹۹}. 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^{۲۰۰}. 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^{۲۰۱}.

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 خُرد، 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.

^{۱۹۹} ترجیح می‌دهم فعلاً در اینجا از واژه‌ی Stochastic استفاده نکنم. اگر چه می‌تواند واژه‌ی دقیق‌تری باشد.

^{۲۰۰} در اینجا Deterministic می‌تواند تعبیر درست و دقیق‌تری باشد. نمی‌دانم بعداً جایگزین خواهم کرد یا نه.

^{۲۰۱} 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 **سوآرم**^{۲۰۲}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 انسان‌ها، گله‌ی گاوها، برای زنبورها و موریانه‌ها، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری می‌کنیم، سوال درست این است که **کدام فرض** به تحلیل سیستم بیشتر کمک خواهد کرد؟ این سوال، در فضای **حل مسئله و تحلیل سیستم**، کاملاً درست و کاربردی است. اما مهم است به خاطر داشته باشیم که در عالم واقع، ما به ازاء بیرونی نداریم^{۲۰۳}.

^{۲۰۲} Swarms

^{۲۰۳} 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.

انتروپی - 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. انتروپی 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 انتروپی، جهان ماقبل اتمی را به جهان مابعد اتمی متصل می‌کند.

زمانی که کلاوزیوس و کلوین، از انتروپی 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 انتروپی 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 انتروپی 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: **Swarm Intelligence**^{۲۰۴}.

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.

^{۲۰۴} 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.^{۲۰۵} 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.^{۲۰۶}

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

^{۲۰۵} 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.

^{۲۰۶} 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^{۲۰۷} 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^{۲۰۸}.

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^{۲۰۹}.

^{۲۰۷} Martin Lindauer

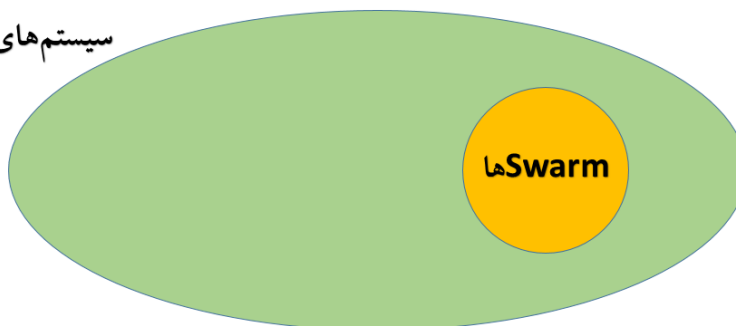
^{۲۰۸} کتاب یوجین ماری با عنوان روح مورچه‌های سفید - که بعداً توسط موریس مترلینگ هم سرقت شد و با عنوان زندگی موریه‌ها منتشر شد - نشان می‌دهد که از نخستین سال‌هایی که انسان، پیچیدگی زندگی اجتماعی برخی حشرات را مورد توجه قرار داد و کوشید اسرار زندگی و مکانیزم سازمان‌دهی آنها را کشف کند، شاید هنوز یک قرن نگذشته باشد.

^{۲۰۹} 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^{۲۱۰} و جان فون نویمان^{۲۱۱} قرار داد. اگر چه متأسفانه به اندازه‌ی آنها شناخته شده نیست^{۲۱۲}.

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^{۲۱۳}.

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.

^{۲۱۰} Alan Turing

^{۲۱۱} John von Neumann

^{۲۱۲} 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.

^{۲۱۳} 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^{۲۱۴}.

سطوح مختلفی برای زندگی اجتماعی در حشرات تعریف می‌شود که از جمله‌ی آنها می‌توان به زندگی در سطح شبه اجتماعی^{۲۱۵}، زندگی در سطح نیمه اجتماعی^{۲۱۶} و زندگی اجتماعی واقعی^{۲۱۷} 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^{۲۱۸} 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^{۲۱۹}:

- 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^{۲۲۰}.

^{۲۱۴} Grimaldi, D. A., & Engel, M. S. (2006). Evolution of the insects. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

^{۲۱۵} Quasisocial

^{۲۱۶} Semisocial

^{۲۱۷} Eusocial

^{۲۱۸} Caste

^{۲۱۹} Crespi, B. J., & Yanega, D. (1995). The definition of eusociality. Behavioral Ecology, 6(1), 109-115. doi:10.1093/beheco/6.1.109

^{۲۲۰} 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^{۲۲۱} 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^{۲۲۲}.

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.

^{۲۲۱} Pheromone

^{۲۲۲} 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^{۲۳۳}.

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**^{۲۳۴} 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^{۲۳۵} 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.

^{۲۳۳} Second best alternative

^{۲۳۴} Routing

^{۲۳۵} 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.^{۲۲۶}

آنها به مشکل حمل بار توسط خطوط هوایی 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 مبداء 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.

ادوارد ویلسون - یکی از بهترین منابع درک مفهوم سوآرم

در میان تمام کسانی که در لحظه‌ی نوشتن این مطلب زنده‌اند، بی‌تردید کسی بهتر از ادوارد ویلسون، حشرات اجتماعی را نمی‌شناسد. این را حتی کسانی که منتقد او هستند - مانند ریچارد داوکینز - بارها مورد تاکید قرار داده‌اند.

^{۲۲۶} Bonabeau, E., & Meyer, C. (2001, May). Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think About Business. Harvard Business Review.

ویلسون اکنون سالهای پایانی نهمین دهه‌ی زندگی خود را می‌گذراند و بزرگترین دانشمند علم مورچه‌شناسی یا مرمکولوژی^{۲۲۷} است.

قطعاً اینکه ویلسون بزرگترین مورچه‌شناس تاریخ انسان است، خود افتخار بزرگی است. اما ویژگی‌های رفتاری، نوع نگاه، قدرت تحلیل و شیوه‌ی مواجهه‌ی او با مسائل و چالش‌ها، خود حاوی درس‌های بسیاری برای ماست.

به همین علت تصمیم گرفتم به جای اینکه نام او را در یکی از پاورقی‌های کتاب پیچیدگی بیاورم، عنوان مستقلى را به او اختصاص دهم^{۲۲۸}.

ویلسون، علاقه‌ی بسیاری به زندگی در بیرون خانه داشته و دارد و همین زندگی در دنیای آزاد^{۲۲۹} به او در شناسایی و درک بیشتر حیوانات و حشرات، کمک کرده است.

ویلسون، در دوران کودکی با یک اتفاق ناخوشایند هنگام ماهی‌گیری، به چشم راست خود آسیب می‌زند و پس از مدتی طی یک عمل جراحی عدسی چشم او برداشته می‌شود. برای کسی که عاشق طبیعت و حیوانات است، از دست دادن یک چشم به معنای کاهش توانایی در تشخیص دقیق شکل سه بعدی و حجم حیوانات است و می‌توان تصور کرد که از دست دادن این توانایی برای کسی که عاشق حیوانات و زیست‌شناسی است چه خسارت بزرگی محسوب می‌شود.



اما عکس‌العمل ویلسون جالب است. او تصمیم می‌گیرد به بررسی حشرات ریزتر مثل مورچه‌ها بپردازد. چون مشکل تشخیص ندادن حجم و ابعاد سه بعدی در مورد موجودات کوچک‌تر، بسیار کمتر است و البته تیزبینی چشم چپ او هم، ابزار دیگری بود که توانست به شناخت حشرات، کمک شایانی نماید.

^{۲۲۷} Myrmecology

^{۲۲۸} نمی‌دانم که این کتاب کامل خواهد شد یا نه. اما اگر روزی کامل شد، شاید باید این فصل به عنوان یک پیوست در انتهای کتاب باشد.

^{۲۲۹} به نظرم با سبک تربیتی امروز کودکان در شهرهای مدرن، که والدین کودکان را لحظه به لحظه همراهی می‌کنند و نیز، با در نظر گرفتن انبوه تکنولوژی‌ها و کسب و کارهایی که ثانیه به ثانیه رفتار ما در فضای دیجیتال را ثبت و ردگیری می‌کنند، تعبیر دنیای آزاد برای قدم زدن و راه رفتن و بازی کردن در کوچه و خیابان، خصوصاً اگر موبایل همراه مان نباشد تعبیری درست و دقیق است.

نمی‌دانیم اگر ویلسون چشم راست خود را از دست نمی‌داد و تمرکزش از روی حیوانات و جانوران بزرگ به مورچه‌ها و حشرات اجتماعی منتقل نمی‌شد امروز، علم در جهان در چه وضعیتی بود. اما به هر حال، تمرکز او بر روی حشرات و به طور خاص مورچه‌ها، ضمن اینکه باعث شد مسئولیت جمع آوری حشرات برای موزه جانورشناسی تطبیقی دانشگاه هاروارد بر عهده‌اش گذاشته شود، به تدریج باعث شد به درک عمیقی از زندگی اجتماعی حشرات دست پیدا کند.

شاید اگر کسی بخواهد یک کتاب از ویلسون را - صرفاً برای آشنایی اولیه با او - بخواند، نامه‌هایی به یک دانشمند جوان^{۲۳۰} بهترین گزینه باشد. البته برخی از کسانی که این کتاب را خوانده‌اند، ضمن تحسین محتوای کتاب، به خاطر نوع انتظاری که حاصل از عنوان کتاب بوده است، کمی سرخورده شده‌اند.

فکر می‌کنم این خوانندگان انتظار داشته‌اند کتاب، دارای چارچوبی بسیار شفاف و صلب باشد. شاید هم انتظار داشته‌اند دقیقاً هشتاد و پنج نکته یا صد و چهار نکته برای مخاطب فهرست شود. ویلسون اگر چه کتاب را واقعاً به سبک نامه شروع می‌کند، اما در میانه‌ی راه به این سبک چندان وفادار نمی‌ماند و بارها وارد فضای خاطره‌گویی و زندگی‌نامه نویسی می‌شود. بنابراین خواننده‌ای که به سرعت به پایان این کتاب نسبتاً کوچک دویست صفحه‌ای می‌رسد ممکن است با خود بگوید که ای‌کاش در این نامه‌ی نسبتاً مختصر که قرار بود نقشه‌ی راهی برای طی کردن مسیر علم باشد، تا این حد به حواشی پرداخته نمی‌شد.

در باور من، مروری کوتاه به سایر کتابهای ویلسون نشان می‌دهد که او به خوبی با شیوه‌های مختلف نگارش آشناست و قلم به خوبی رام اوست. بنابراین، منطقی‌تر است فرض کنیم ویلسون هم، مانند بسیاری از بزرگان دیگر، در نقل جزئیات زندگی خود، هدف آموزش را دنبال می‌کند و نباید حاشیه رفتن‌های او را ناشی از پرگویی یا پریشان‌فکری بدانیم.

اما در میان انبوه نوشته‌ها و تحلیل‌های ارزشمندی که ویلسون به ذخیره‌ی دانش بشری افزوده است، در فصل‌های آتی کتاب پیچیدگی، دو کتاب دیگر از ویلسون بیشتر به کار ما خواهد آمد و بارها به آنها ارجاع خواهم داد.

یکی کتابی که تحت عنوان *Consilience*^{۲۳۱} یا وحدت دانش است که من ترجیح می‌دهم آن را به همگرایی بین علوم طبیعی و علوم انسانی ترجمه کنم و از این به بعد در فصل‌های آتی کتاب پیچیدگی، از آن تحت عنوان کتاب همگرایی

^{۲۳۰} Wilson, E. O. (2013). Letters to a young scientist. New York, NY: Liveright, W.W. Norton.

^{۲۳۱} Wilson, E. O. (2007). Consilience: the unity of knowledge. Cambridge: International Society for Science and Religion.

نام خواهم برد^{۳۳۲}. این کتاب، فقط به بحث سوآرم مربوط نیست و می‌تواند ابزار مناسبی برای درک عمق فلسفی دانش پیچیدگی باشد.

اما به هر حال، ویلسون را بیشتر به عنوان پدر علم سوسیوبایولوژی^{۳۳۳} یا زیست‌شناسی اجتماعی می‌شناسند. اگر چه این اصطلاح قبل از او هم به کار رفته بوده، اما تلاش و مطالعات او و کتاب ارزشمندی که در این زمینه تالیف کرده، بی‌شک او را شایسته‌ی عنوان بنیان‌گذار علم زیست‌شناسی اجتماعی کرده است^{۳۳۴}.

ویلسون، محتوای کتاب زیست‌شناسی اجتماعی را به سه بخش اصلی و هر بخش را به چند فصل فرعی تقسیم کرده است. فکر می‌کنم همین تقسیم‌بندی و عنوان‌هایی که برای هر بخش انتخاب شده، راهنمایی ارزشمند برای درک بهتر علم زیست‌شناسی اجتماعی باشد.

ضمن اینکه این بخش‌بندی‌ها برای کسی که قصد داشته باشد برای حل مسائل پیچیده، از شبیه‌سازی الگوی سوآرم استفاده کند هم، مفید است.

بخش اول کتاب، به **تکامل اجتماعی** پرداخته است. ویلسون بحث خود را با تعریف دقیق واژه‌های گروه، جامعه و کلونی آغاز می‌کند و مفاهیمی مانند ارتباطات، هماهنگی و کنترل و قاعده‌مندی در جوامع را بررسی می‌کند. مفاهیمی مانند تطبیق با محیط، تاثیر محیط بر تکامل و تاثیر تغییرات فرد و تکامل فرد بر رفتارها و مشخصه‌های جامعه، از جمله بحث‌های ارزشمندی است که بخش اول کتاب به آن اختصاص یافته است.

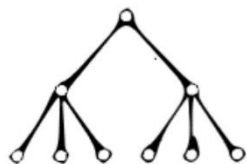
بخش اول بیشتر به مفهوم‌پردازی، تعریف واژه‌ها و معرفی المان‌های مدل‌سازی جانوران می‌پردازد. نمودار زیر، از جمله تصاویری است که نویسنده برای بیان بهتر مفاهیم اولیه جامعه‌شناسی حیوانات بکار گرفته است.

^{۳۳۲} چند سال پیش، به این حدس رسیده بودم و طی دو یا سه سال اخیر به این باور رسیده‌ام که به وجود آمدن علوم انسانی، ناشی از ضعف علوم طبیعی بوده و اگر دستاوردهای امروز تکنولوژی و فناوری اطلاعات و به خصوص شبکه‌های اجتماعی (به عنوان یک لابراتوار بزرگ از گله‌های انسانی) و نیز داده‌های حاصل از سنسورهای ردیابی عددی انسان، در کنار سایر علوم دقیقه مانند ریاضی و فیزیک قرار گیرد و ابزارهایی مانند تحلیل اطلاعات حجیم و دانش پیچیدگی و شناخت سوآرم هم به کمک‌مان بیاید، در آینده‌ی نه‌چندان دور، چیزی به نام علوم انسانی - که خود را در در تقابل و یا لاقط در استقلال از علوم طبیعی می‌داند - وجود نخواهد داشت. پس می‌توانید تصور کنید که دیدن عنوان **Consilience** حتی قبل از اینکه کتاب را باز کنم و عناوین فصل‌ها و محتوای آن را بخوانم، تا چه حد شوق و تحسینم را برانگیخته است.

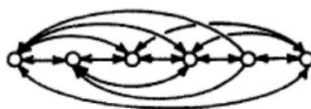
^{۳۳۳} Sociobiology

^{۳۳۴} Wilson, E. O. (2002). *Sociobiology: the new synthesis*. Cambridge, Mass: Belknap Press of Harvard University Press.

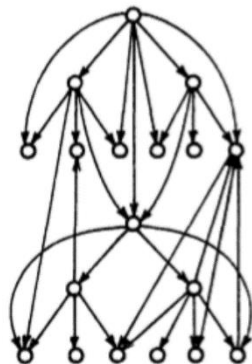
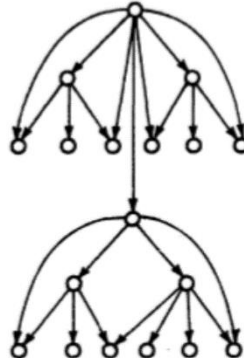
ارتباط در گروه‌های نظامی انسان‌ها



ارتباط بین ماهی‌ها



ارتباط در میان پرندگان

ارتباط بین شامپانزه‌ها
هنگام جنگارتباط بین میمون‌ها
هنگام جنگارتباط بین بابون‌ها
هنگام جنگ

بخش دوم کتاب، به مکانیزم‌های اجتماعی^{۲۳۵} اختصاص پیدا کرده است. بحث‌هایی مثل یادگیری، اجتماعی شدن، ارتباطات، اقتصاد پیام رسانی، شکل‌گیری اطلاعات در جامعه‌ی حیوانی، خشونت و قلمروخواهی از جمله مفاهیمی هستند که در این بخش از کتاب مورد بحث قرار گرفته‌اند.

بخش سوم کتاب، از جمله بخش‌های چالش‌برانگیز کار ویلسون بوده است. این بخش به گونه‌های اجتماعی می‌پردازد و ماهی‌ها، پرندگان، فیل‌ها، پستانداران و انسان‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد. آخرین فصل از بخش سوم کتاب، جایی است که ممکن است مقاومت ذهنی برخی خوانندگان را برانگیزد. عنوان این فصل، از زیست‌شناسی اجتماعی به جامعه‌شناسی است. جایی که ویلسون می‌کوشد مدل خود در مورد جانداران اجتماعی را که در یک سمت آن مورچه‌ها قرار دارند، در سمت دیگر تا جامعه‌ی انسانی گسترده کند.

^{۲۳۵} Social mechanisms

تفکر ویلسون در اینجا دو دسته مخالف دارد. اگر فرصت کافی برای تکمیل این کتاب باشد، قاعدتاً باید در فصل‌های پایانی، به تفصیل به این بحث‌ها بپردازم و در آنجا شرح دهم که ذهن من به عنوان خواننده، در عمده‌ی نقدها و مخالفت‌هایی در برابر ویلسون وجود دارد، با او همراه است.^{۲۳۶}

اما فعلاً در اینجا به صورت خلاصه بگویم که دو گروه مخالفان ویلسون، هر دو مانند خود او طرفدار حوزه‌ی تکامل هستند و یکی از آنها، یعنی داوکینز، از جمله مطرح‌ترین دانشمندان زنده در این حوزه است.

منتقد اول او، اردوگاهی است که شاخص‌ترین فرد آن، استیون گولد^{۲۳۷} است. گولد مشخصاً روش علمی ویلسون را نقد نمی‌کند. بلکه به تبعات حرف ویلسون انتقاد دارد. او می‌گوید که نگاه ویلسون می‌تواند مروج نژادپرستی باشد. همچنین تاکید دارد که نقش فرهنگ و تعاملات اجتماعی در تکامل رفتارهای اجتماعی توسط ویلسون نادیده گرفته شده است.

اگر بخواهیم بسیار ساده و غیردقیق بگوییم، گولد می‌گوید نگاه ویلسون باعث می‌شود کسانی بپذیرند که رفتار یک قوم و گروه، می‌تواند به کلی متفاوت از یک قوم و گروه دیگر باشد و شاخه‌ای متفاوت از رشد و تکامل را طی کند. این درحالی است که گولد معتقد است فرهنگ انسان‌ها چنان در هم تنیده است که نمی‌توان چنین مرزهایی را بین گروه‌های اجتماعی (مثلاً ملت‌ها یا اقوام مختلف) ترسیم کرد.

اینکه کدام دیدگاه می‌تواند درست باشد و اساساً آیا واقعاً حرف‌های ویلسون به نتیجه‌ای که گولد می‌گوید منتهی می‌شود یا نه، بحث مستقلی است.

اما آنچه برای من مهم است و فکر می‌کنم برای هر دانشجوی دیگر رشته‌ی پیچیدگی هم باید مهم باشد این است که علم، در ذات خود، به هیچ‌کس و هیچ‌چیز بدهکار نیست. علم موظف نیست نتیجه‌ای به دست بیاورد که ارزش‌های فعلی، اصول فعلی، رفتارها و باورهای فعلی را تایید کند.

نقش علم توصیف است. تجویز را اقتصاددان‌ها و سیاستمداران و سایر کسانی که در حوزه‌ی خط‌مشی‌گذاری فعالند، انجام خواهند داد. علم اگر تعهدی دارد، به روش علمی است و دیگر هیچ.

از این منظر، برای من خواندن حرف‌های گولد آزاردهنده بود و اگر به خاطر نوشتن این مطالب نبود و لازم نبود که مطالعات دست اول داشته باشم، حاضر نمی‌شدم وقتم را به خواندن حرف‌های کسی بگذرانم که دستاوردهای نظریه‌های

^{۲۳۶} فکر می‌کنم وقتی بحث اختلاف نظر بزرگان مطرح است، گفتن اینکه من با این موافقم یا با آن مخالفم، یا من طرفدار این هستم یا طرفدار آن نیستم، چندان پخته نیست. منطقی‌تر است بگوییم ذهن ما، حرف کدام را بهتر می‌فهمد و با کدامیک، بهتر همراه می‌شود. بیش از این را صرفاً متخصصان باید بگویند.

^{۲۳۷} Stephen Jay Gould

علمی را بر اساس اصول و ارزش‌ها و چارچوب‌های ذهنی خود (و نه بر اساس روش مورد استفاده)، در ترازوی قضاوت قرار می‌دهد.

منتقد دیگر ویلسون، ریچارد داوکینز است. شاید در میان زندگان، نام هیچ‌کس به اندازه‌ی داوکینز، نام چارلز داروین را تداعی نکند. کتاب ژن خودخواه او و البته ده‌ها کتاب و مقاله‌ی دیگری که در ادامه نوشته، همگی حول این باور شکل گرفته‌اند که نقش کلیدی در تکامل بر عهده‌ی ژن‌هاست.

داوکینز هم در کتاب خود^{۲۳۸} و هم در مقدمه‌ای که بر کتاب سوزان بلک‌مور^{۲۳۹} نوشته است مشخصاً برای ژن اصالت قائل است. به عبارتی، او دستاورد تکامل را انسان نمی‌داند. بلکه ژنوم انسان می‌داند. در نگاه داوکینز، انسان بستری است که ژن از طریق آن خود را تکثیر می‌کند. همان نگاهی که بعداً در کتاب بلک‌مور هم در مورد ایده‌ها می‌بینیم^{۲۴۰}.

این در حالی است که نگاه ویلسون که بر مبنای سوارم شکل گرفته است، تکامل را در چند سطح می‌بیند که تکامل در سطح ژن‌ها صرفاً یکی از آنهاست.

اگر چه به نظر می‌رسد که حرف ویلسون با ذات نگرش ژن‌محور داوکینز تفاوت و حتی تعارض داشته باشد، اما داوکینز در نقد ویلسون، به جای اینکه بر نگرش خود تاکید کند، توضیح می‌دهد که برای تعمیم نگاه داروینی از سطح ژن به سطح گروه و جامعه و نیز برای استفاده از آموخته‌های جامعه‌ی مورچه‌ها برای ارائه‌ی مدلی برای تکامل چند سطحی در میان انسان‌ها و گروه‌های جانداران، باید الگویی دقیق‌تر وجود داشته باشد و مفهوم‌پردازی عمیق‌تری انجام شود.

مستقل از اینکه مدل تکامل چندسطحی ویلسون را بپذیریم یا نگاه داوکینز و تکامل ژن‌محور او را بهتر درک کنیم، واقعیت این است که اگر قرار است از دانش پیچیدگی برای تحلیل رفتارهای گروهی انسان‌ها در شهرها، گروه‌ها، شبکه‌های اجتماعی، نرم افزارهای پیام‌رسان، تصمیم‌گیری‌های جمعی، امواج فرهنگی و اجتماعی و سایر تعامل‌های انسانی در مقیاس گسترده و چندسطحی استفاده کنیم، ویلسون حرف‌هایی بیشتر از داوکینز برای ما خواهد داشت و ابزارهای بهتر و قدرتمندتری در اختیارمان قرار خواهد داد.

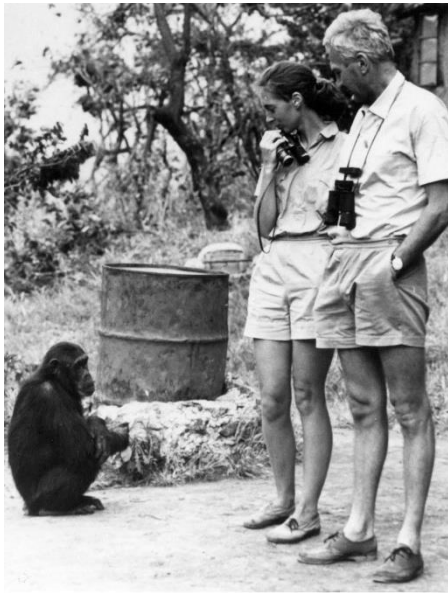
^{۲۳۸} Dawkins, R. (2016). The selfish gene: 40th anniversary edition. Oxford: Oxford University Press.

^{۲۳۹} Blackmore, S. J. (2000). The meme machine. Oxford: Oxford University Press.

^{۲۴۰} حرف کلیدی بلک‌مور این است که می‌توانیم با دو مدل متفاوت، جوامع انسانی را بفهمیم. یک مدل، همان شیوه‌ی کلاسیک است که در آن، انسان‌ها از ایده‌ها برای بقای خود و رشد و توسعه‌ی جامعه‌ی انسانی استفاده می‌کنند. اما در علم ممیتیک، مدل دیگری انتخاب می‌شود. بلک‌مور، انسان‌ها را ابزار و بستری برای ایده‌ها می‌داند. به عبارتی، فرض می‌کند که این ایده‌ها هستند که از انسان‌ها برای تکثیر و انتقال و رشد خود استفاده می‌کنند.

زمانی که فیلم وی مثل وندتا (V for Vendetta) را دیدم، جایی جمله‌ای با این مضمون داشت که: [انسان‌ها با گلوله می‌میرند اما] ایده‌ها ضدگلوله هستند. این جمله‌ی فیلم، همیشه برای من، حرف‌های بلک‌مور و نگاه او به جهان را تداعی می‌کند.

کاربرد رفتارشناسی جانداران در شناخت پیچیدگی



روی شامپانزه‌ها اسم نگذار. اگر برای آنها به جای اسم کد بگذاری کمتر گرفتار سوگیری ذهنی می‌شوی. این توصیه‌ای بود که جین گودال^{۲۴۱} در سال‌های نخست تحصیل و تحقیق در کمبریج از محققان آن دانشگاه، می‌شنید. البته این توصیه هرگز اجرا نشد. چنانکه در توضیح عکسی که او با استادش روبرت هایند^{۲۴۲} دارد، نوشته شده است: جین، روبرت و ملیسا. در حالی که در عکس دو انسان بیشتر نمی‌بینیم.

نام جین گودال با شامپانزه‌ها عجین شده است. فیلم‌ها و مستندهای متعددی در مورد او تولید شده و اشتباه نیست اگر بگوییم در دوران معاصر نقشی بی‌بدیل در حفظ حیات شامپانزه‌ها و بهتر دیده شدن و فهمیده شدن آنها داشته است.

گودال در خاطرات خود می‌گوید هنگامی که به کمبریج وارد شد تا رفتارشناسی جانداران را بیاموزد، قلم، کاغذ و یک دوربین دوچشمی دست‌دوم، تنها دارایی‌های او بود.

او برای شامپانزه‌ها اسم گذاشته بود و صرفاً رفتارهای آن‌ها را ثبت می‌کرد^{۲۴۳}.

گودال به خاطر دارد که یک بار در یادداشت‌های خود در مورد یک شامپانزه نوشته بوده: وقتی فلینت، برادرِ فی فی به دنیا آمد، فی فی به بقیه‌ی جوانان گروه که به فلینت نزدیک می‌شدند حسادت می‌کرد.

^{۲۴۱} Jane Goodall

^{۲۴۲} Robert Hinde

^{۲۴۳} Peterson, D. (2008). Jane Goodall: the woman who redefined man. Boston, MA: Houghton Mifflin.



روبرت هاینده به او می‌گوید: جین. تو حق نداری بگویی فی‌فی حسادت می‌کرده. حسادت یک واژه‌ی ذهنی است. قابل تعریف و سنجش نیست. ضمناً یک رفتار انسانی است. باید مراقب باشی در دام آن‌تروپومورفیسم^{۲۴۴} گرفتار نشوی.

گودال - که غرور یک دختر جوان در مواجهه با یک استاد زیبارو و جذاب را داشته و می‌کوشیده آن را حفظ کند - می‌گوید: «استاد. این واقعاً

حسادت می‌کند. وقتی حسادت می‌کند، چرا باید از کلمه‌ی دیگری استفاده کنم؟»

روبرت هاینده به او پاسخ می‌دهد: «پس حداقل بنویس: فی‌فی به شکلی رفتار کرد که اگر انسان بود، احتمالاً ما به این رفتار صفت حسادت را نسبت می‌دادیم.»

جمله‌ی روبرت هاینده کمی کمک می‌کند تا فضای رشته‌ی اتولوژی^{۲۴۵} را که خود او استاد برجسته‌ی آن بود و گودال دانشجوی دکترای همین رشته محسوب می‌شد، بهتر تصور کنیم^{۲۴۶}.

^{۲۴۴} آن‌تروپومورفیسم (Anthropomorphism)، به معنای انسان‌انگاری حیوانات یا اشیاء است. به عبارتی، یعنی صفاتی را به موجودات غیرانسان نسبت دهیم که در انسان‌ها مشاهده و تجربه کرده‌ایم. خودرویی که خسته شده، موبایلی که قاطی کرده، سگی که می‌خندد و گیاهی که با خوردن آب جان گرفته، همگی نمونه‌هایی از آن‌تروپومورفیسم محسوب می‌شوند. البته اگر بیش از حد نگران آن‌تروپومورفیسم باشیم، ممکن است در دام آنتی آن‌تروپومورفیسم گرفتار شویم. یعنی احساسات و رفتارهایی که بین ما و سایر موجودات مشابه است را نتوانیم یا نخواهیم به آن‌ها نسبت دهیم. مثلاً ممکن است واقعاً یک سگ از دیدن صاحب خود خوشحال شود، اما وقتی صاحب سگ چنین تعبیری را به کار می‌برد از سوی دیگر انسان‌ها به این خطا متهم شود که رفتار و احساسات سگ را بر اساس احساسات انسانی نام‌گذاری و تفسیر کرده است. من بعداً باید در کتاب پیچیدگی به این بحث برگردم. چون فکر می‌کنم هوش و شعور و زنده بودن، از جمله صفتهایی هستند که به خیلی از موجودات دیجیتال امروزی - از جمله اینترنت و شبکه‌های اجتماعی - قابل اطلاق هستند. اما برخی انسان‌ها از روی تعصب و نادانی و برخی دیگر از ترس گرفتار شدن به دام آن‌تروپومورفیسم، حاضر نیستند چنین صفتهایی را در مورد آنها به کار ببرند. حتی اگر چنین کنند، این نوع صفتهای را از جنس استعاره می‌دانند و نه یک واقعیت فیزیکی در دنیای بیرونی.

^{۲۴۵} Ethology

^{۲۴۶} روبرت هاینده در روزهای پایانی سال ۲۰۱۶ میلادی درگذشت. یکی از نکاتی که باعث ناراحتی من شد این بود که وقتی نام او را برای نخستین بار خواندم و دیدم و جستجو کردم، متوجه شدم که تنها چند روز از مرگ او گذشته است. شبیه همین اتفاق در مورد کریستوفر هیچنز هم افتاد. منطق، احساس ناراحتی برای پیدا کردن یک نفر پس از مرگ او را - خصوصاً اگر قرار نباشد هرگز او را ببینی - نمی‌پذیرد. اما بر این باور هستم که بسیاری از ما چنین حسی را تجربه کرده‌ایم. البته باید خوشحال باشم که در مورد ویلسون و بسیاری از نام‌های دیگری که در این کتاب آمده و خواهد آمد، بخت با من یار بوده تا همزمان با زنده بودنشان حرف‌هایشان را بخوانم و بشنوم و احساس بهتری را تجربه کنم.

برای اینکه فضای اتولوژی را بهتر درک کنیم لازم است فضای فکری و فرهنگی دوران تولد و رشد این رشته را بهتر بشناسیم و بدانیم. دهه‌های نخستین قرن بیستم، دورانی بود که داروین و داروینیسیم سهم مهمی از فضای علمی و فکری جهان را به خود اختصاص داده بود^{۲۴۷}.

کسانی که در دفاع یا رد بحث تکامل صحبت می‌کردند، الزاماً افراد مطلعی در این زمینه نبودند^{۲۴۸}. همین باعث شده بود که از یک سو، دانشمندان آشنا به تکامل مشغول به پاسخ‌گویی به اتهاماتی شوند که اساساً ربطی به آنها نداشت و از سوی دیگر، این نگرانی وجود داشته باشد که نگاه کیفی و داستانی به موضوع، موجب انحراف از روش علمی شود^{۲۴۹}.

دانش اتولوژی در این فضا به وجود آمد. معمولاً آن را به رفتارشناسی جانوران ترجمه می‌کنند. اما من ترجیح می‌دهم از رفتارشناسی جانداران استفاده کنم تا شامل همه‌ی ما بشود. خصوصاً با توجه به اینکه در فصل‌های آینده‌ی کتاب، می‌خواهم از کاربرد اتولوژی در تحلیل رفتار انسان‌ها در پلتفرم‌های اجتماعی صحبت کنم.

اگر کتابهای رایج در زمینه‌ی اتولوژی^{۲۵۰} را ورق بزنید یا در اینترنت واژه‌ی اتولوژی را جستجو کنید، به سه نام خواهید رسید. سه نفر که به خاطر فعالیت خود در این حوزه در سال ۱۹۷۳ به صورت مشترک جایزه‌ی نوبل در فیزیولوژی و پزشکی را دریافت کردند:

- کارل فون فریش^{۲۵۱}
- کونراد لورنز^{۲۵۲}
- نیکولاس تینبرگن^{۲۵۳}

^{۲۴۷} منظورم این نیست که همه داروینیسیت بودند. بلکه منظورم این است که نمی‌توانستی از آن صرف نظر کنی و داروین و داروینیسیم را نبینی. بسیاری از نویسندگان و متفکران و حتی غیرنویسندگان و غیرمتفکرانی که تریبونی در اختیار داشتند، در مخالفت و یا در موافقت با آن نگاه حرف می‌زدند و اظهارنظر می‌کردند.

^{۲۴۸} هنوز هم چه در ایران و چه در کشورهایی که مردم بیشتر از ما اهل مطالعه و یادگیری و فکر کردن هستند، کم نیستند کسانی که تکامل لامارکی را توضیح می‌دهند و فکر می‌کنند در حال توضیح تکامل داروینی هستند. احتمالاً جایی بهانه‌ای پیدا خواهم کرد تا تفاوت این دو را بگویم. شاید زمانی که به بحث بهینه سازی سیستم‌ها یا خودسازماندهی برسیم، جایی برای این بحث باز شود.

^{۲۴۹} یکی از تهدیدهای جدی برای بحث‌های علمی در این است که به شکل Narration و روایت وارد ادبیات عمومی - و حتی ادبیات مختصان - می‌شوند. در این حالت، دیگر از روش علمی که بنای آن بر فرضیه، پیش‌بینی، تجربه و اصلاح است فاصله می‌گیریم و کسانی موفق‌تر می‌شوند که داستان بهتری بسازند و روایت کنند.

^{۲۵۰} Ethology

^{۲۵۱} Karl von Frisch

^{۲۵۲} Konrad Lorenz

^{۲۵۳} Nikolaas Tinbergen

در شرحی که برای جایزه نوبل آنها آمده به این نکته اشاره شده است که آنها این جایزه را برای اکتشافات خود در زمینه‌ی شیوه‌ی بروز و سازماندهی الگوهای رفتار فردی و اجتماعی^{۲۵۴} دریافت کرده‌اند.

روبرت هایندهم که در ابتدای این بحث به او اشاره کردم، از شاگردان مستقیم تینبرگن است و نقش مهمی در توسعه و تدوین اتولوژی داشته است.

اتولوژیست‌ها می‌خواستند از روش علمی برای بررسی تکامل و توسعه‌ی این دانش استفاده کنند. فراموش نکنیم که در زمان تولد و رشد اولیه‌ی اتولوژی، هنوز DNA کشف نشده بود و بسیاری از بحث‌هایی که به تکامل مربوط می‌شد، عملاً بحث‌های کیفی بود. همان چیزی که باعث می‌شد بر خلاف امروز، به جای نظریه تکامل از اصطلاح فرضیه‌ی تکامل^{۲۵۵} استفاده شود.

اتولوژی کوشید صرفاً به رفتارهای قابل مشاهده‌ی جانداران توجه کند و به هیچ وجه به لایه‌های دیگری که شناختی از آنها نداریم وارد نشود.

به عنوان مثال، حق داریم از اصطلاح‌های زاد و ولد، حرکت به چپ، حرکت به راست، شکار کردن، خوردن، جفت‌گیری، مهاجرت، تغییر رنگ پوست، ریزش پر، دویدن، راه رفتن، نوک زدن و جستجوی غذا استفاده کنیم. اما استفاده از اصطلاحات خشمگین شدن، حسودی کردن و انتقام گرفتن و ترسیدن، مجاز نخواهد بود.

تمرین:

شاید بد نباشد در اینجا، به رفتارهای انسان‌ها در یکی از شبکه‌های اجتماعی رایج فکر کنید و سعی کنید چند رفتار را فهرست کنید.

همچنین فکر کنید که چه چیزهایی را حق ندارید در فهرست رفتارها قرار دهید هر چه نام می‌برید باید دارای تعریف شفاف بوده و قابل مشاهده و اندازه‌گیری باشد. پس از تعریف شما، هر فرد دیگری هم باید بتواند آن رفتارها را مشاهده و اندازه‌گیری کرده و گزارش دهد.

^{۲۵۴} For their discoveries concerning organization and elicitation of individual and social behaviour patterns.

^{۲۵۵} در اوایل کتاب در یک پاورقی توضیح دادم که به نظرم تکامل و فرگشت به یک اندازه به عنوان ترجمه‌ی Evolution گمراه‌کننده هستند. به همین علت علاقه ندارم از واژه‌ی فرگشت استفاده کنم. امیدوارم زمانی، کلمه‌ی پیشنهادی خودم یعنی دگرگشت رایج شود و یا لاقلاً از کلمه‌ی زیبا و گویای عربی تطور استفاده کنیم. تا آن زمان، همچنان همین تکامل را به کار می‌برم که به گوش و چشم خواننده آشنا تر است.

اتولوژیست‌ها می‌کوشیدند گونه‌های مختلف جانداران را بر اساس رفتارهایشان تشخیص دهند و تفکیک کنند.

به بیان دیگر، بر اساس شباهت‌های رفتاری میان یک گروه از جانداران، یک گونه را تعریف کنند و بر اساس تفاوت‌های رفتاری میان یک گروه از جانداران با گروه دیگر، تفاوت بین گونه‌ها را تشخیص دهند و اندازه بگیرند.

حاصل این بررسی‌ها می‌تواند به نمودارهای طبقه‌بندی گونه‌ها منتهی شود. این نمودارها در میان جانورشناسان به **کلادوگرام**^{۲۵۶} مشهور هستند.

طبیعی است این شیوه، در مقایسه با شیوه‌ی قدیمی که صرفاً به شکل ظاهری حیوانات و جانداران توجه می‌کرد علمی‌تر و دقیق‌تر است. اما احتمالاً می‌توانید حدس بزنید که با توسعه‌ی علم ژنتیک از یک سو و نیز علم نورولوژی از سوی دیگر، عملاً اتولوژی کارکرد کلاسیک خود را از دست می‌دهد.

این نگاهی است که ویلسون هم به آن معتقد بوده است. گفته می‌شود که ویلسون، در سال ۱۹۷۵ پیش‌بینی کرده بود که اتولوژی به زودی از بین خواهد رفت^{۲۵۷}. چون بخش‌هایی از آن که با مکانیزم رفتار کار دارد در نورولوژی بررسی خواهد شد و بخش‌های دیگر هم در سوسیوبیولوژی - که خود او بنیان‌گذاری کرده است - مورد بحث قرار خواهد گرفت.

اما امروز می‌دانیم که اتولوژی در زیست‌شناسی و جانورشناسی باقی مانده و اتفاقاً یک علم در حال رشد محسوب می‌شود. البته کارکرد آن بسیار تغییر کرده است. امروز دغدغه‌ی اتولوژی، بیشتر از اینکه به ترسیم کلادوگرام و بررسی درخت تکامل محدود شود، بررسی کمی رفتار فردی و گروهی جانداران است.

اگر چه کسانی مثل ویلسون در مورد سوارم‌ها بسیار حرف زده‌اند و نظریه‌پردازی‌های ارزشمندی انجام داده‌اند، اما اگر بخواهید از روش روایت‌سازی و علت‌پردازی فاصله بگیرید و رفتار سوارم‌ها را به شکل کاملاً عددی و ریاضی بررسی کنید، همچنان باید به سراغ اتولوژیست‌ها بروید.

اجازه بدهید به علت اهمیت این نکته، آن را به شکلی دقیق‌تر توضیح دهم:

سوسیوبیولوژیست‌ها، وقتی از گروه موریانه‌ها یا زنبورها یا ماهی‌ها حرف می‌زنند، درست مانند یک جامعه‌شناس به رفتارهای آنها و طبقات اجتماعی آنها و تعاملات آنها نگاه می‌کنند. خود جامعه‌شناسی در مورد انسان‌ها هم، هنوز تا حد زیادی یک علم کیفی است.

^{۲۵۶} Cladogram

^{۲۵۷} Davies, N. B., Krebs, J. R., & West, S. A. (2014). An introduction to behavioural ecology. Oxford: Wiley-Blackwell.

اما فرض کنید شما می‌خواهید رفتار ایرانیان را در تلگرام یا اینستاگرام یا فیس بوک یا توییتر بررسی کنید، یا پیش‌بینی کنید که با آزاد شدن دسترسی به یک شبکه اجتماعی چه اتفاق‌هایی خواهد افتاد یا از رفتار یک گروه از انسان‌ها در یک پلتفرم اجتماعی، رفتار آنها را در پلتفرم دیگری که هنوز روی آن سرمایه‌گذاری نشده پیش‌بینی کنید.

احتمالاً در اینجا دست اتولوژیست‌های دیجیتال بیشتر از سوسیوبیولوژیست‌ها بازخواهد بود. آنها به روش‌های عددی مجهز هستند و می‌توانند ابزاری برای سنجش رفتارهای فعلی و پیش‌بینی رفتارهای آتی در اختیار شما قرار دهند.

قواعد ساده و ظهور رفتارهای پیچیده: بررسی اتولوژیک گروه ماهی‌ها

در ادامه‌ی معرفی بسیار مختصر اتولوژی، این بخش از بحث را به مرور یکی از مقاله‌های کلیدی در زمینه‌ی اتولوژی ماهی‌ها اختصاص می‌دهم.^{۲۵۸} این مقاله را براین پارتریج^{۲۵۹} در سال ۱۹۸۲ منتشر کرد. اگر چه بعد از او مقالات متعددی در زمینه اتولوژی ماهی‌ها منتشر شدند، اما فکر می‌کنم مرور کار پارتریج از دو جهت حائز اهمیت باشد.

یکی اینکه کار او از جمله قدیمی‌ترین مطالعات علمی و دقیق در این حوزه است و باید پذیرفت که به قول معروف، الفضل للمتقدم^{۲۶۰}.

علت دیگر آنکه پارتریج از جمله نخستین کسانی است که به ظهور رفتارهای جمعی در ماهی‌ها توجه کرد و این نکته را مورد تاکید قرار داد که قواعد بسیار ساده در حرکت هر ماهی، می‌تواند به ظهور رفتارهای پیچیده در جمع ماهی‌ها منتهی شود.

معمولاً ماهی‌ها در دو ساختار متفاوت کنار هم قرار می‌گیرند. یکی از این ساختارها، وضعیتی است که در آن هیچ نوع محرک بیرونی - چه جستجوی غذا و چه تهدید خارجی - وجود ندارد. آنها در یک جمع بزرگ بدون نظم و ترتیب خاصی می‌چرخند و می‌گردند و تعاملات اولیه اجتماعی خود را برقرار می‌کنند. در ادامه‌ی این کتاب، این وضعیت را توده‌ی ماهی‌ها خواهیم نامید.^{۲۶۱}

^{۲۵۸} Partridge, B. L. (1982). The Structure and Function of Fish Schools. Scientific American, 246(6), 114-123.

doi:10.1038/scientificamerican0682-114

^{۲۵۹} Brain Partridge

^{۲۶۰} اصطلاحی عربی که در میان فارسی‌زبانان هم رایج است و تاکید دارد که برتری از آن کسی است که پیش‌تاز باشد و زودتر از دیگران گام در یک راه بگذارد.

^{۲۶۱} در انگلیسی برای این وضعیت خاص ماهی‌ها کلمه‌ی ویژه وجود دارد و به آن Shoaling گفته می‌شود.

اما وقتی ماهی‌ها تصمیم می‌گیرند دنبال غذا بروند یا محل جدیدی را کشف کنند یا متوجه می‌شوند که ماهی‌های بزرگ‌تر قصد دارند به آنها حمله کنند، ناگهان نظم‌ی شگفت‌انگیز در میان‌شان به وجود می‌آید.

بسیاری از تصویرهایی که ما از گردش انبوه ماهی‌ها در کنار هم یا حرکت جمعی آنها می‌بینیم، به این وضعیت مربوط است. برای اینکه این وضعیت را از وضعیت قبل تفکیک کنیم، من اصطلاح **گروه ماهی‌ها** را به کار خواهم برد^{۲۶۲}.

بنابراین، تا پایان این کتاب به خاطر خواهیم داشت که **توده‌ی ماهی‌ها** و **گروه ماهی‌ها** دو اصطلاح مترادف نیستند و هر کدام به یک وضعیت اشاره می‌کنند.

پارتریج برای مطالعه خود از ماهی پالاک استفاده کرد. تصویر نمونه‌ای از این ماهی را در اینجا می‌بینید:



پارتریج چنان از رفتار گروهی ماهی‌ها شگفت‌زده بود که تصمیم گرفت چند سال از زندگی خود را صرف مطالعه‌ی حرکت آنها کند. هیجان‌زدگی پارتریج را می‌توانید در نخستین جمله‌های مقاله‌ی او هم حس کنید:

چگونه این کار را انجام می‌دهند؟ هر کس که گروه ماهی‌ها را ببیند و حرکت آنها را تحت نظر قرار دهد، طبیعتاً چنین سوالی را خواهد پرسید.

صدها ماهی کوچک چنان به صورت گروهی و هماهنگ حرکت می‌کنند که احساس می‌کنی بهتر است آنها را یک اندام بدانی تا چند صد عضو مستقل که در یک گروه در حال حرکت و زندگی هستند.

همه در حال حرکت مستقیم هستند. ناگهان می‌بینی که گروه پیچید و مسیر دیگری را رفت. محال است حتی یک ماهی جا بماند یا برای لحظه‌ای مسیر را گم کند.

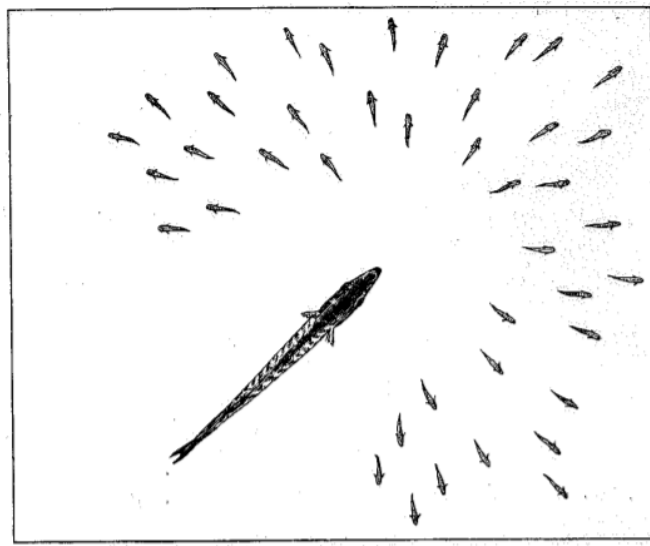
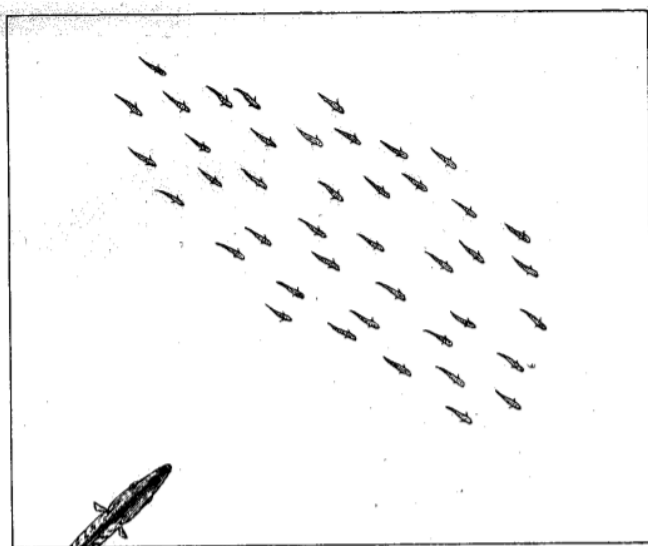
^{۲۶۲} اصطلاحی که در انگلیسی برای رفتار گروه ماهی‌ها به عنوان **Schooling** مطرح می‌شود، مربوط به این وضعیت است.

یک کوسه ماهی با شتاب به گروه آنها نزدیک می‌شود. مانند یک کره از مرکز دور می‌شوند و مسیر را برای کوسه‌ماهی باز می‌کنند. حتی دو ماهی هم با یکدیگر برخورد نمی‌کنند. کوسه‌ماهی به مسیر مستقیم ادامه می‌دهد و ماهی‌ها در قالب چند گروه به یکدیگر نزدیک می‌شوند و دوباره گروه‌ها هم به یکدیگر می‌پیوندند و مسیر قبلی را ادامه می‌دهند.

پارتریج توضیح می‌دهد که با وجود آشنا بودن رفتار جمعی ماهی‌ها برای انسان‌ها، تحقیقات کمی در مورد قواعد و الگوی حرکت آنها انجام شده و در ادامه روش تحقیق خود را شرح می‌دهد.

اجازه بدهید چند تصویر را که او در مقاله‌اش ترسیم کرده در اینجا مرور کنیم.

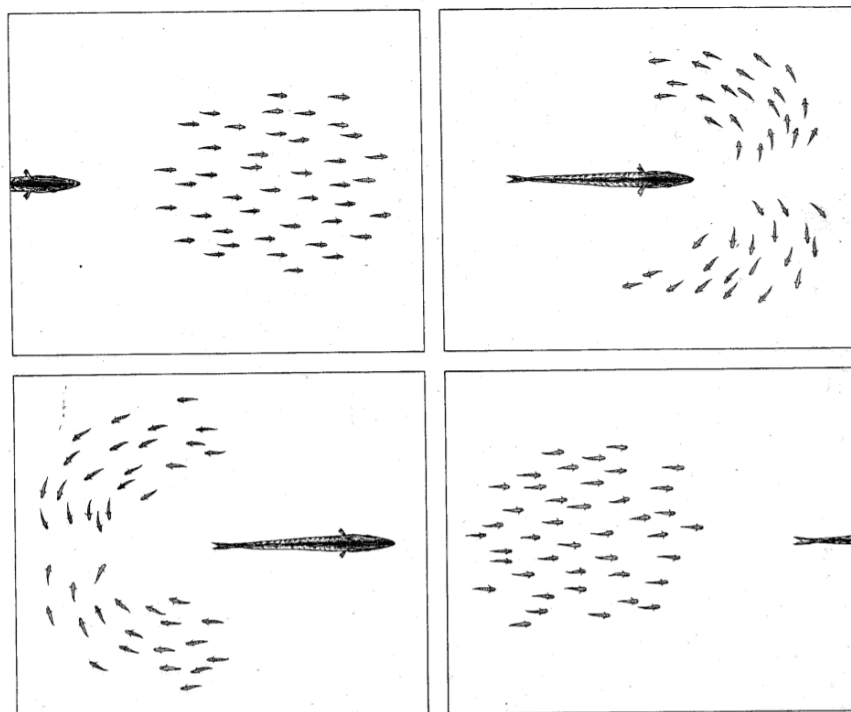
نخستین تصویر مربوط به زمانی است که ماهی‌ها با یک شکارچی سریع مواجه می‌شوند و به صورت یک کره در حال انبساط از او دور می‌شوند.



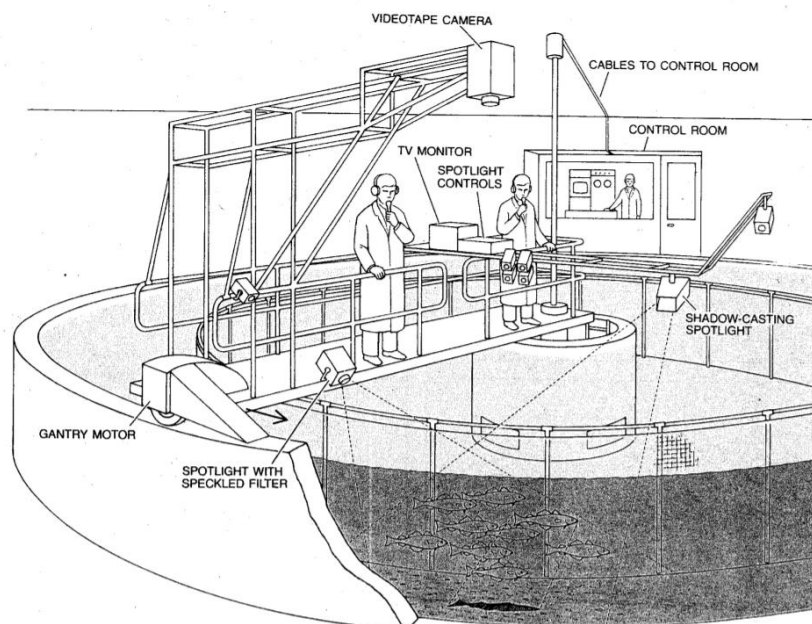
او نموداری را هم نشان می‌دهد. در نمودار دوم، نحوه‌ی فرار کردن ماهی‌ها از دست شکارچیان بزرگ‌تر نمایش داده شده است.

شکارچیان بزرگ‌تر، طبیعتاً انعطاف‌پذیری کمتری هم دارند و نمی‌توانند به سادگی مسیر خود را تغییر دهند. ماهی‌ها هم، برای فرار از دست آنها روش هوشمندانه‌ی دیگری دارند.

کمی از مسیر او دور می‌شوند و درست پشت دم شکارچی دوباره گرد هم می‌آیند و چون دور زدن برای ماهی بزرگ دشوار است، از شکار کردن آنها صرف‌نظر می‌کند و به سراغ طعمه‌ای دیگر می‌رود.



پارتریج، مخزن آبی بزرگ به قطر ده متر درست کرد تا بتواند رفتار ماهی‌ها را بررسی کند. او در مقاله‌اش، نحوه‌ی مطالعه و بررسی را با جزئیات کامل شرح داده است. چون جزئیات اجرایی خارج از بحث ماست، من از نقل آنها صرف‌نظر می‌کنم. اگر چه چنان زیبا و خلاقانه هست که علاقمندان جزئیاتش را در مقاله‌ی او مطالعه و بررسی کنند.



از جزئیات بحث که بگذریم، نتیجه‌ی کار پارتریج برای ما آموزنده است. او برای تحلیل حرکت ماهی‌ها حدود ۳۵۰۰۰ فریم عکس را دانه به دانه بررسی کرد و مختصات ماهی‌ها را به یک سیستم کامپیوتری داد.

در نهایت به چند نتیجه‌ی مهم و کلیدی رسید که در اینجا آنها را مرور می‌کنیم:

- هر یک از ماهی‌ها، به دو روش از محیط خود اطلاعات دریافت می‌کند. یکی چشم‌های اوست و دیگری باله‌های کناری که به سرعت حرکت آب حساس هستند و با دقت بالا می‌توانند سرعت و جهت حرکت ماهی‌های مجاور را حس کنند.
- ماهی‌ها، هیچ نوع ترجیح خاصی را در مورد فاصله با سایر ماهی‌ها نشان نمی‌دهند. به عبارتی وقتی از فاصله‌ی متوسط ماهی‌ها حرف می‌زنیم، صرفاً از یک محاسبه‌ی ریاضی صحبت می‌کنیم و نه یک قاعده‌ی رفتاری.

- ماهی‌ها فقط دو قاعده‌ی ساده را می‌فهمند و دنبال می‌کنند. **قانون اول** این است که اگر ماهی دیگری در جلوی آنها باشد، آن را تعقیب می‌کنند. **قانون دوم** هم این است که سرعت حرکت خود را با ماهی کنارشان تنظیم می‌کنند.^{۲۶۳}



آنچه مناسب است در اینجا به خاطر بسپاریم این است که رفتارهای پیچیده و هوشمندانه‌ای که ما در **گروه ماهی‌ها** می‌بینیم، در **وضعیت ماکرو** قابل تعریف و قابل مشاهده هستند. در **وضعیت خُرد**، ماهی‌ها قواعد بسیار ساده‌ای دارند که عمدتاً بر پایه‌ی ژنتیک و در طول مسیر طولانی تکامل شکل گرفته و کمک می‌کند زندگی روزمره‌ی خود را بگذرانند.

درباره اهمیت همسایگی

انسان جزئی از یک کل است. ما آن کل را هستی نامیده‌ایم. این جزء، در زمان و مکان محدود است. خودش را، افکار و احساساتش را جدا از جهان اطراف می‌پندارد و برای خود هویتی مستقل قائل می‌شود. چیزی شبیه خطای بصری که این بار در حوزه‌ی آگاهی اتفاق می‌افتد.

اینشتین

^{۲۶۳} اگر مقاله‌ی پارتیج را بخوانید جزئیات بسیار بیشتری خواهید دید. از جمله اینکه وقتی اطلاعاتی که به چشم ماهی و به باله‌های ماهی می‌رسد تناقض دارد، ماهی کدام را انتخاب می‌کند. اما اینها جزئیاتی است که اگر چه برای یک اتولوژیست بسیار جذاب است، اما برای ما که می‌خواهیم پیچیدگی را بیاموزیم، در اولویت نیست.

تا این بخش از بحث، سعی کرده‌ایم از زوایای مختلف به بحث پیچیدگی نزدیک شویم و اگر چه بارها به آن نزدیک شده‌ایم، اما هنوز آن را چنانکه باید و شاید لمس نکرده‌ایم.

امیدوارم در این فصل، با بررسی مثال‌های مختلف، ارتباط میان مطالبی که در فصل‌های پیشین مطرح شده شفاف‌تر شود و به این شیوه، مسیر یادگیری‌مان برای فصل‌های آتی هموارتر شود.

هدفم این است که تا پایان این بخش به این سوال مهم پاسخ دهم که: «اصلاً ما چه چیزی کم داشتیم که به سراغ دانش پیچیدگی آمدم؟ آیا جایی با مشکل یا مانعی مواجه شده بودیم؟ آیا مسئله‌ی حل‌نشده‌ای داشتیم؟ آیا ابزارها و مدل‌هایی که داشتیم، در توضیح برخی پدیده‌ها یا پیش‌بینی برخی رفتارها ضعیف بودند؟ آیا می‌توان گفت ما صرفاً دانش پیچیدگی را به عنوان یک ابزار طراحی و تولید کردیم تا ببینیم کجا ممکن است به کارمان بیاید؟»

معتقدم که اگر مطالب را تا اینجا با دقت و حوصله دنبال کرده باشید، پاسخ این پرسش‌ها را می‌دانید؛ یا لااقل می‌توانید حدس بزنید. با این حال منطقی است که من هم عنوانی مستقل را به این بحث اختصاص دهم تا مطمئن باشم همه‌ی ما به یک اندازه برای مطالعه‌ی ادامه‌ی این بحث آماده هستیم.

داستان نیاز به پیچیدگی را با دو مثال آغاز می‌کنم.

ایده‌ی مثال اول را از براین آرتور قرض گرفته‌ام^{۲۶۴} و برای مثال دوم هم از کتاب میلر و پیچ استفاده کرده‌ام^{۲۶۵}. البته هر مثال، همچنان که نویسندگان مذکور هم در نوشته‌های خود تاکید کرده‌اند، بارها تغییر شکل پیدا کرده و توسط دیگران در مطالعات و تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است.

من هم روایت خودم را - در حدی که به کارمان می‌آید - خواهم داشت. این را از آن جهت گفتم که تاکید کنم زیبایی و جذابیت مثال‌ها، حاصل هنر و خلاقیت گویندگان اصلی است و ضعف‌ها و ابهام احتمالی‌شان ناشی از ساختار و روایتی است که من به آنها تحمیل می‌کنم.

ماجرای موسیقی زنده در سفره‌خانه

^{۲۶۴} Arthur, B. (2015). Complexity and the economy. Oxford: Oxford University.

^{۲۶۵} Miller, J. H., & Page, S. E. (2007). Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life. Princeton, NJ: Princeton University Press.

یک سفره‌خانه‌ی سنتی را در نظر بگیرید که هر جمعه شب در آن موسیقی زنده اجرا می‌شود. سفره‌خانه برای حدود شصت نفر ظرفیت دارد و عملاً نفر شصت و یکم از حضور در سفره‌خانه و استفاده از برنامه‌ی موسیقی زنده محروم خواهد شد. این سفره‌خانه حدود صد نفر مشتری بسیار وفادار دارد که اتفاقاً عاشق موسیقی زنده هم هستند.

بیایید به سراغ یکی از این علاقمندان - مثلاً مهسا - برویم که الان در غروب دلگیر جمعه، در خانه نشسته و با خود فکر می‌کند که امشب به سفره‌خانه سر بزنم یا نزنم؟

مهسا می‌داند که اکنون نود و نه نفر دیگر غیر از او هم دارند به همین سوال فکر می‌کنند. ممکن است عده‌ای از آنها فکر کنند امشب شلوغ است و تصمیم بگیرند به سفره‌خانه سرزنند و در خانه بمانند. اگر حداقل چهل نفر از این نود و نه نفر چنین تصمیمی بگیرند، مهسا می‌تواند با خیال راحت به سفره‌خانه برود و صندلی خالی هم داشته باشد و غروب لذت‌بخشی را هم تجربه کند.

اما اگر تعداد زیادی از این صد نفر، احساس کنند که امشب احتمالاً سفره‌خانه خلوت است و موقع مناسبی است تا از موسیقی زنده بهره‌مند شوند، احتمال دارد مهسا جایی پیدا نکند و مجبور شود دست‌خالی و بی‌نتیجه به خانه بازگردد^{۲۶۶}. این مسئله‌ی ساده یک ویژگی مهم دارد:

صد نفر باید در یک مورد - حضور داشتن یا نداشتن در یک برنامه - تصمیم بگیرند و صرفاً پس از اینکه همه‌ی آنها تصمیم گرفتند و انتخاب خود را انجام دادند، مشخص می‌شود که چه انتخابی درست و چه انتخابی نادرست بوده است. به عبارت دیگر، در لحظه‌ی تصمیم‌گیری، هیچ گزینه‌ی درست یا نادرستی وجود ندارد. فقط پس از اینکه همه تصمیم گرفتند می‌توانیم در مورد درست یا نادرست بودن تصمیم هر فرد اظهار نظر کنیم.

فرض کنید به همه‌ی این صد نفر، یک فرمول ریاضی داده شده که بتوانند احتمال حضور دیگران را در سفره‌خانه حدس بزنند. این فرمول می‌تواند اطلاعاتی مانند تعطیلی‌های نزدیک به آن تاریخ، دمای هوا، همزمانی برنامه‌های فوتبال و ده‌ها

^{۲۶۶} امیدوارم الان با خودتان نگویید که مهسا اگر واقعاً علاقمند باشد، می‌تواند از پنج عصر برود و پشت در سفره‌خانه بنشیند تا در را باز کنند و او به راحتی صندلی پیدا کند. چون بقیه هم احتمال دارد به چنین چیزی فکر کنند و در نهایت صرفاً یک بعد به پیچیدگی مسئله‌ی من اضافه کرده‌اید، بدون اینکه چیزی به دست آورده باشیم. شاید شما هم تجربه‌ی سفرهای آخر هفته را داشته باشید که همه فکر می‌کنند اگر ساعت هشت صبح راه بیفتند جاده‌ها شلوغ است و به همین علت تصمیم می‌گیرند ساعت شش صبح راه بیفتند و اتفاقاً ترافیک واقعی هم ساعت شش به خاطر همین سحرخیزان محاسبه‌گر به وجود می‌آید و تنبل‌های بی‌محاسبه، ساعت هشت با خیال راحت سفر خود را آغاز می‌کنند. بنابراین، لطفاً برای این مسئله، فرض کنید همه‌ی کسانی که به سفره‌خانه می‌روند، همزمان به آنجا می‌رسند و مهسا هم به خاطر تیپ شخصیتی‌اش، حتی اگر یک صندلی کم بیاید، ترجیح می‌دهد خودش از برنامه محروم شود و اجازه دهد دیگران از برنامه استفاده کنند.

عامل دیگر را با هم ترکیب کند و به شما بگوید که چند درصد احتمال دارد امشب برای شما جای خالی وجود داشته باشد.

وجود چنین فرمولی بسیار زیبا و جذاب به نظر می‌رسد. بخش قابل توجهی از مدل‌های مدیریتی و اقتصادی هم به معرفی و آموزش چنین فرمول‌هایی اختصاص یافته‌اند.

احتمالاً کسانی هم هستند که با بررسی نقش فاکتورهای جدید و افزودن آنها به فرمول، مدارج علمی خود را ارتقا داده‌اند. مثلاً شاید بررسی نقش عامل آلودگی هوا در تصمیم شهروندان برای حضور در سفره‌خانه، موضوع پایان‌نامه‌ی یک دانشجوی ارشد بوده باشد.

اما به یک نکته توجه کنید: چنین فرمولی وقتی می‌تواند مفید باشد که هیچ فرد دیگری به آن دسترسی نداشته باشد. به این وضعیت غم‌انگیز فکر کنید که این فرمول در اختیار هر صد نفر قرار گرفته است.

حالا همه از فرمول استفاده می‌کنند و مثلاً به نتیجه می‌رسند که امروز صندلی خالی دارند. پس همه به سفره‌خانه مراجعه می‌کنند و با صندلی‌های پر مواجه می‌شوند. از طرفی اگر فرمول به آنها بگوید که امروز صندلی خالی پیدا نخواهد شد، همه در خانه می‌مانند و فردا از مدیر سفره‌خانه خواهند شنید که دیشب حتی یک نفر هم در آنجا حضور نداشته و گروه موسیقی، برای صندلی‌های خالی برنامه اجرا کرده است.

احتمالاً با خود می‌گویید: مگر می‌شود همه دقیقاً یک فرمول داشته باشند؟ اتفاقاً معمولاً چنین فرمول‌هایی در اختیار افراد معدودی است و همین مسئله باعث می‌شود بتوانیم به آنها اتکا کنیم.

اما ماجرا اینجاست که بخش قابل توجهی از اقتصاد و مدیریت، می‌کوشند به ما فرمول‌های حاکم بر ذهن انسان‌ها را بیاموزند. به ما بگویند که دیگران چه چیزهایی را ترجیح می‌دهند و چه چیزهایی را ترجیح نمی‌دهند و در چه شرایطی چه گزینه‌هایی را انتخاب می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت، بخش قابل توجهی از ابزارهایی که ما تا کنون طراحی کرده‌ایم، عملاً از جنس مسئله‌ی سفره‌خانه است.

حالا ممکن است حرف دیگری بزنید. مثلاً بگویید: هیچ‌کس مدعی نیست که همه دقیقاً بر اساس یک فرمول و کاملاً مکانیکی رفتار می‌کنند. این فرمول‌ها صرفاً الگوی کلی رفتار یک فرد را توضیح می‌دهند. این توجیه، بیشتر از هر حرف دیگری، شیوه‌ی مدل‌سازی ما را تضعیف می‌کند و زیر سوال می‌برد. چون عملاً می‌توان آن را به صورت این پارادوکس ترجمه کرد: بسیاری از مدل‌های علوم انسانی و اجتماعی، اگر خیلی درست نباشند و دیگران هم آن‌ها را رعایت نکنند، می‌توانند مفید و قابل استفاده باشند.

اگر کمی وقت بگذارید و به این مسئله فکر کنید، می‌توانید متوجه شوید که یک آنالوژی بسیار جالب بین اجرای سفره‌خانه و بسیاری از مسائل روزمره و نیز چالش‌های مدیریت و اقتصاد وجود دارد.

به این مثال‌ها توجه کنید:

- یک برنامه‌ی رادیویی اعلام کرده به قید قرعه به تعدادی از کسانی که یک پیامک مشخص را ارسال کنند جایزه می‌دهد.
 - قیمت سهم یک شرکت سقوط کرده و الان سهامداران در فکر هستند که بهتر است سهم را نگه دارند یا آن را بفروشند.
 - ترافیک در لاین سوم اتوبان زیادتر از لاین چهارم است و همه‌ی رانندگان هم‌زمان به این فکر می‌کنند که لاین خود را عوض کنند یا نه (بارها شده که همه با هم لاین خود را تغییر می‌دهیم و حالا لاین چهارم شلوغ می‌شود و باید در ادامه‌ی مسیر، دوباره همه‌ی خودروها به این سوال فکر کنند که بهتر است به خط سوم بازگردند یا نه).
- مثال‌هایی از این دست بسیارند و در همه‌ی آنها یک ویژگی مشترک وجود دارد: تصمیم هیچ یک از بازیگران بازی، به خودی خود درست یا غلط نیست. اصلاً تصمیم درست یا غلط وجود ندارد. همه تصمیم می‌گیرند و تنها در این مرحله است که مشخص می‌شود تصمیم درست و نادرست چه بوده است.
- اگر تعداد بازیگران در این مدل‌ها کم باشد، می‌توان مدل را در حد بازی سنگ، کاغذ، قیچی در نظر گرفت و از کنار آن عبور کرد. اما وقتی صدها و هزاران و بلکه میلیون‌ها نفر درگیر چنین بازی‌هایی می‌شوند، عملاً هیچ فرمول قطعی و چارچوب عقلانی برای تصمیم‌گیری و تعیین گزینه‌ی درست وجود ندارد. قاعدتاً تعیین گزینه‌ی درست پس از اینکه همه انتخاب‌هایشان را انجام دادند هم، دردی از کسی دوا نخواهد کرد.
- این مسئله را می‌توانیم پیچیده‌تر هم بکنیم.

مثلاً فرض کنید هر یک از این صد نفر، بیست هفته‌ی گذشته درگیر اجرای سفره‌خانه بوده و هر هفته در مورد رفتن یا نرفتن تصمیم گرفته‌اند. حتی می‌توانید فرض کنید ماجرا آن‌قدر مهم بوده که هر یک از این صد نفر در طول هفته به سفره‌خانه سر زده‌اند و پرسیده‌اند که تعداد حاضرین جمعه گذشته چند نفر بوده است.

دفتر خاطرات یکی از این مشتریان وفادار سفره‌خانه می‌تواند حاوی چنین گزارشی باشد:

- هشت هفته قبل، فکر کردم همه به سفره‌خانه می‌روند و من نرفتم. بعداً فهمیدم که واقعاً شلوغ بوده (چه خوب که نرفتم).

- هفت هفته قبل، فکر کردم افراد کمی به سفره‌خانه می‌روند و من رفتم. اما جا پیدا نکردم و برگشتم (چه بد که رفتم).
- شش هفته قبل، انتظار داشتم افراد کمی به سفره‌خانه بروند و باز هم رفتم. این بار واقعاً خلوت بود (چه خوب که رفتم)
- پنج هفته قبل، فکر کردم خیلی‌ها به سفره‌خانه می‌روند و نرفتم. بعداً فهمیدم خلوت بوده (چه بد که نرفتم).
- ...

حالا سوال این است که اگر هر یک از این صد نفر، چنین دفترچه‌ای داشته باشند و هر جمعه برای تصمیم‌گیری به دفتر خاطرات‌شان مراجعه کنند، روند تصمیم‌گیری چه تغییری خواهد کرد؟ اصلاً بهتر است چنین دفترچه‌ای داشته باشیم یا نبودن چنین دفترچه‌ای بهتر است؟ اگر بدانید همه چنین دفترچه‌ای دارند، شما هم این گزارش را ثبت می‌کنید؟ یا فکر می‌کنید چنین گزارشی نمی‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر کمک کند؟

سوال سخت‌تری هم وجود دارد: اگر به شما اجازه بدهند که به هر چند نفر (حتی همه‌ی نود و نه نفر دیگر) زنگ بزنید و برنامه‌ی آنها را بپرسید، آیا این کار را انجام می‌دهید؟ اصلاً این کار به شما کمک می‌کند؟ چون ممکن است بعضی به نتیجه برسند بهتر است به شما بگویند حتماً می‌روند تا شما احساس کنید شلوغ است و از رفتن صرف‌نظر کنید.

با افزودن جزئیات به مسئله، به تدریج به مسائل واقعی در جامعه و اقتصاد و فضای مدیریت نزدیک‌تر می‌شویم. چون همه‌ی ما سابقه‌ای از تصمیم‌ها و انتخاب‌های گذشته در ذهن داریم و گاه و بیگاه به آنها مراجعه می‌کنیم. نظر و قضاوت دیگران را هم می‌پرسیم.

اما این نکته‌ی بسیار مهم را به خاطر بسپاریم: این جزئیات نیست که مسئله را پیچیده کرده است. مسئله از ابتدا پیچیده بود. ذات این مسئله و این نوع مسائل، چیزی نیست که بتوانیم به سادگی بر اساس یک فرمول مشخص و قطعی ریاضی در موردشان اظهار نظر کنیم.

بیاید بایستیم و سخنران را تشویق کنیم

این مثال را به نوعی از حرف‌های پیچ و میلر الهام گرفته‌ام.

در یک مراسم شرکت کرده‌اید و یک سخنرانی به پایان می‌رسد و شما به عنوان یکی از حاضرین، بسیار هیجان‌زده شده‌اید. سخنرانی بسیار زیبا و تاثیرگذار و حتی شاید فراتر از انتظار شما بوده است.

بلند می‌شوید و می‌ایستید و کف می‌زنید و سخنران را تشویق می‌کنید. اگر زیاد به سمینارها سر بزنید و تجربه‌های بسیاری هم در هیجان‌زدگی داشته باشید، حتماً متوجه شده‌اید که گاهی فقط شما هستید که بلند می‌شوید و کف می‌زنید (و احتمالاً به سرعت سر جای خود می‌نشینید).

گاهی اوقات، بخشی از حاضرین می‌ایستند و تشویق می‌کنند. زمان‌هایی هم هست که همه می‌ایستند.

معمولاً وقتی تعداد کسانی که می‌ایستند و تشویق می‌کنند از حد مشخصی فراتر رود، تقریباً همه خواهند ایستاد. چون صورتِ چندان زیبایی ندارد که همه ایستاده باشند و شما در میان آنها نشسته باشید.

باز هم به مسئله‌ی ساده‌ی دیگری رسیدیم که تحلیل آن چندان ساده نیست.

فرض کنید به شما گفته‌اند باید تعدادی از صندلی‌ها را با دوستان خود پر کنید تا در پایان سخنرانی بلند شوند و سخنران را هیجان‌زده تشویق کنند تا این ماجرا به همه‌ی جمع تسری پیدا کند. چند نفر را به سالن می‌برید؟ هر کدام را کجا می‌نشانید؟ فراموش نکنید که دوستان شما یک تفاوت مهم با سایر مهمان‌ها دارند. مهمان‌ها بلیط خریده‌اند و پول داده‌اند و آمده‌اند. اما هر یک از دوستان شما، یک صندلی را اشغال می‌کنند و فرصت فروش بلیط از دست می‌رود. تازه احتمالاً برای حضور در برنامه و تشویق هیجان‌زده، حقوق هم خواهند خواست.

پس نمی‌توانید هر چقدر دلتان می‌خواهد تعداد این تشویق‌کنندگان هیجان‌زده را افزایش دهید.

شاید چنین مسائلی در ظاهر چندان مهم نباشند. اما تردید ندارم اگر کمی ذهن خود را آزاد بگذارید و تجربه‌ها و دانسته‌های خود را مرور کنید، انبوهی مثال‌های واقعی و کاربردی به خاطر خواهید آورد که به نوعی با این داستان‌هایی که گفتم آنالوژی دارند.

مفهوم همسایگی

در اینجا می‌توانیم به تدریج سراغ مفهوم همسایگی برویم.

در ماجرای سخنرانی، همه روی یک صندلی نشسته‌اند و همه هم در یک لحظه در مورد نشستن یا ایستادن تصمیم نمی‌گیرند. تصمیم هر کس در هر لحظه، به تصمیم چند نفر دیگر در آن لحظه و لحظات قبل بستگی دارد. این افراد می‌توانند دوستان او باشند که در کنارش ایستاده‌اند یا کسانی که در افق دید او در صندلی‌های جلو قرار دارند.

این همسایه‌های هر نفر هستند که باعث می‌شوند تصمیم هر فرد مشخص شود.

در مورد سفره‌خانه هم، می‌توانیم نود و نه نفر دیگر را همسایه‌های هر فرد در نظر بگیریم. واضح است که در اینجا بحث ما الزاماً همسایگی فیزیکی نیست؛ اگر چه می‌تواند چنین هم باشد. بحث ما افراد یا اجزائی هستند که روی تصمیم فرد تاثیر می‌گذارند.

مثال ماهی‌ها هم که در فصل قبل مطرح کردیم، نمونه‌ای بسیار خوب و شفاف از همسایگی بود.

مجموعه‌های بسیاری در طبیعت وجود دارند که رفتار اجزاء آنها بر اساس قاعده‌ی همسایگی شکل می‌گیرد. معمولاً هر کس فقط با همسایگان خود تعامل دارد و از سایر بخش‌های سیستم مطلع نیست؛ اما در نهایت همین تصمیم‌های توزیع شده به الگوهای رفتاری در وضعیت کلان سیستم منجر می‌شوند.

بررسی وضعیت خرد در سوآرم‌ها

فرض کنید اندازه و ابعاد فیزیکی ما کمابیش به اندازه‌ی یک ماهی است. بنابراین از کلیات دنیای ماهی‌ها، از بزرگی یا کوچکی آن، از شکل گروه ماهی‌ها و چیزهای دیگری که فراتر از مقیاس درک ماست خبر نداریم. برای یک ماهی، حتی گاهی گروه ماهی معنا ندارد. چون گاه تعداد ماهی‌ها آنقدر زیاد می‌شود که نمی‌توانند مرزهای گروه خود را ببینند و بدانند که این گروه در کجا آغاز می‌شود و در کجا به پایان می‌رسد.^{۲۶۷}

سوآلی که می‌توان مطرح کرد این است که چه نکاتی را در رفتار هر عضو (هر ماهی) و اعضای مجاورش مد نظر قرار دهیم تا در نهایت درک بهتری از رفتارهای کل مجموعه‌ی ماهی‌ها داشته باشیم. به عبارت دیگر، چه داده‌ها و دانسته‌هایی در وضعیت خرد، می‌تواند چشم را بیشتر و بهتر به وضعیت کلان سیستم باز کند.

برای این سوال، پاسخ‌های متنوعی وجود دارد. آنچه من در اینجا مورد استفاده قرار می‌دهم، مدل پیچ و میلر است.^{۲۶۸} پیچ و میلر هشت پرسش مطرح می‌کنند و تک تک آنها را با جزئیات بسیار، مورد بررسی قرار می‌دهند. اما فعلاً برای ما در این مرحله کافی است که آن کلیات آن پرسش‌ها را بدانیم.

^{۲۶۷} بعدها خواهیم دید که کره‌ی زمین هم در کنار سایر سیاره‌ی منظومه‌ی شمسی، مثل یک ماهی در اقیانوسی بزرگ است. همچنانکه یک یا چند کشور در میان مجموع کشورهای جهان و یک یا چند ایرانی در میان مردم ایران و یک یا چند مسلمان در جمع مسلمانان و یک یا چند بورس‌باز در میان سرمایه‌گذاران و سهام‌داران و یک یا چند بانک در میان بانک‌ها. در مسیر آینده‌ی کتاب پیچیدگی، سوآرم‌ها را هم در طول زمان (تاریخ) و هم در عرض مکان (جغرافیا) مورد بررسی قرار خواهیم داد.

^{۲۶۸} Miller, J. H., & Page, S. E. (2007). Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life. Princeton, NJ: Princeton University Press.

من در نقل و تشریح آن پرسش‌ها، وفاداری افراطی به خرج نمی‌دهم؛ اگر چه به معنا و مفهوم آنها وفادار هستم. اما در آینده هر از آنها را با دقت و به تفصیل مورد بحث قرار خواهم داد^{۲۶۹}.

سوال اول: روش و مکانیزم‌های دریافت اطلاعات

هر وقت با یک سوارم طرف هستیم، مهم‌ترین سوال این است که از خود پرسیم هر یک از اجزاء این جامعه، چه اطلاعاتی را از چه روش‌هایی و با چه ابزارهایی دریافت می‌کند؟

در مثال پارتیج، موقعیت ماهی‌های مجاور یکی از اطلاعات دریافتی بود که چشم آن را مشاهده و ثبت می‌کرد. اطلاعات دیگری که دریافت می‌شد، سرعت نسبی ماهی‌های مجاور بود که مسئولیت دریافت آن بر عهده‌ی باله‌های جانبی ماهی بود.

حالا می‌توانید به سادگی حدس بزنید که وقتی به هر انسان، یک موبایل داده می‌شود و به کمک آن از طریق شبکه‌های اجتماعی، می‌تواند به صورت لحظه‌ای اطلاعاتی از محیط را دریافت کند، عملاً انسان به موجودی دیگر تبدیل شده است. چون موبایل در دست انسان، بسیار اثرگذارتر باله‌ی ماهی بر پیکر اوست. حتی اگر دانشمندان ژنتیک اصرار داشته باشند که هنوز تغییری در گونه‌ی انسان به وجود نیامده، نباید فراموش کنیم که **جامعه‌ی انسانی** دیگر جامعه‌ی سابق نیست و به گونه‌ای متفاوت تبدیل شده است^{۲۷۰}.

^{۲۶۹} کار میلر و پیچ در تالیف کتابی علمی و دقیق در مورد سیستم‌های پیچیده‌ی خودسازگار قطعاً کاری بسیار ارزشمند است و لااقل در لحظه‌ای که در حال نوشتن این کتاب هستم، کمتر کتابی می‌شناسم که سادگی و دقت علمی و گسترده‌ی مباحث در این زمینه را در کنار یکدیگر و در یک جلد گردآورده باشد. اما چیزی که نمی‌فهمم این است که چرا این دو بزرگوار اصرار داشته‌اند مدل خود را در قالب هشت توصیه‌ی کلیدی بودا طبقه‌بندی کنند. برای هر یک از هشت المان یکی از توصیه‌های بودا انتخاب شده که البته من آنها را نقل نکردم. توصیه‌های بودا هم بد نیست. از کار خوب و فکر خوب و نیت خوب و چیزهای خوب دیگر می‌گوید. اما مشاهده‌ی تلاش این دو نویسنده‌ی دانشمند در ربط دادن این تئورهای بی‌ربط به شرحی که برای هر مولفه‌ی مدل نوشته‌اند دردناک است. راستش را بخواهید اصلاً منطق پشت این **تحمیل گذشته به حال** یا **تلاش برای ریختن حال در ظرف گذشته** - آن‌هم بدون اینکه دردی از ما دوا کند - را نمی‌فهمم. در میان ما هم این چسباندن بی‌علت و تحمیلی بحث‌ها به حافظ و سعدی و مولوی و بزرگان دیگر، نمونه‌های بسیاری دارد. چند وقت پیش هم در تهران یک بلبورد دیدم که نوشته بود دروغ نگویند. زیر آن سه عدد رفرنس داشت. نمی‌فهمم که واقعاً توصیه به دروغ نگفتن این‌قدر پیچیده است که مثلاً اگر رفرنس نداشت ما آن را نمی‌پذیرفتیم؟ به هر حال اینها را گفتم که بگویم این تلاش پیچ و میلر نهایتاً باعث شده دو مورد **رفتار و تبادل اطلاعات** (متناظر با رفتار و گفتار در توصیه‌های بودا) به دو عنوان مستقل تبدیل شوند. من هم به خاطر حفظ چارچوب‌شان همان را نقل می‌کنم و سعی می‌کنم به زحمت تفاوت ایجاد کنم. اما به نظرم این تفکیک کمکی به مدل‌سازی بهتر نمی‌کند. البته نظر مرحوم بودا را در زمینه‌ی مدل‌سازی سوارم به سبک پیچ و میلر را نمی‌دانم.

^{۲۷۰} در آینده، وقتی به بحث شبکه‌ها و پلتفرم‌ها برسیم، می‌بینیم که اثر این تغییرات را به صورت دقیق و با مدل‌سازی ریاضی می‌توان مشاهده و تحلیل کرد. اینکه جامعه‌ی امروز آشوب‌ناک‌تر از گذشته است و پیش‌بینی رفتارهای آن به سادگی گذشته نیست؛ اینکه انسان‌های امروز گاه دشواری‌ها و فشارهای سنگین از سوی دولت‌ها را تحمل می‌کنند و گاه، در برابر اتفاقاتی ساده می‌آشوبند؛ اینکه رای و نظر مردم به سرعت در آستانه‌ی انتخابات تغییر می‌کند؛ اینکه در آمریکا عده‌ی زیادی پای صندوق‌های رای می‌روند و بیش از نیمی از آنها یک نامزد را انتخاب می‌کند و سپس دوباره بیش از نیمی از آنها از نتیجه‌ی انتخاب

همچنین در ادامه‌ی بحث پیچیدگی، باید زمانی به این نکته‌ی مهم پردازیم که اگر بتوانیم با آموزش و پرورش و دانشگاه، به کودکان، نوجوانان و بزرگسالان بیاموزیم که از میان انبوه اطلاعاتی که دریافت می‌کنند، کدام را حفظ و کدام را حذف کنند، رفتار جامعه به کلی تغییر خواهد کرد.

سوال دوم: روش‌ها و مکانیزم‌های ارسال اطلاعات

نباید اشتباه کنیم و مکانیزم‌های دریافت و ارسال اطلاعات را مشابه ببینیم.

اینکه هر المان سیستم از چه کانال‌ها و چه شیوه‌هایی اطلاعات دریافت می‌کند، الزاماً با اینکه از چه کانال‌ها و با چه شیوه‌هایی اطلاعات خود را به سایر اجزا می‌فرستد شباهتی ندارد.

نورون‌های مغز مثال خوبی هستند. آنها از طریق دندریت‌ها اطلاعات را دریافت می‌کنند و از طریق ترمینال‌های آکسون، اطلاعاتی متفاوت - و البته وابسته به ورودی‌ها - را برای نورون‌های دیگر و سایر بخش‌های سیستم ارسال می‌کنند.

ماهی‌های مثال ما، با چشم و باله‌های جانبی، اطلاعات را دریافت می‌کنند و با حرکت کردن خود اطلاعات را به سایر اعضای جامعه ارسال می‌کنند.

باز هم در آینده باید به سراغ ابزارهای ارتباطی نوین در جامعه‌ی انسانی برویم. چون به صورت سنتی، حجم دریافت اطلاعات اکثر ما انسان‌ها، بیشتر از اطلاعات ارسالی ما بوده است. اما در فضای امروز که تولید و مصرف اطلاعات به صورت همزمان با هزینه‌ی مشابه برای اکثر ما امکان‌پذیر است، عملاً مکانیزم‌های ارسال اطلاعات هم تفاوتی ماهوی را تجربه کرده است^{۲۷۱}.

شگفت‌زده می‌شود، اگر چه احتمالاً رویدادی نامطلوب محسوب می‌شود، اما باید پذیرفت که رویدادی غیرمنتظره نیست. اما ترجیح می‌دهم تا زمانی که به بحث‌های دقیق‌تر مدل‌سازی نرسیده‌ایم، وارد چنین بحث‌هایی نشوم تا ظاهر نوشته و تحلیل‌هایم، به گزارش‌های ژورنالیستی در نشریات عامه‌پسند شبیه نشود. ^{۲۷۱} اصطلاح Prosumer که ترکیبی از Producer و Consumer است به همین مسئله اشاره دارد. در اینجا هم، تفاوت عادت‌های اعضای یک جامعه، در انتخاب اطلاعاتی که به دیگران ارسال می‌کنند، می‌تواند جامعه‌ای متفاوت بسازد. هر چند که در ظاهر، همه‌ی جوامع انسانی از المان‌هایی به ظاهر مشابه تشکیل شده‌اند. این بحث را بعداً باید ادامه داد. زمانی بحث خام‌ها و خان‌ها را نوشته بودم که ظاهراً کسی چندان جدی نگرفت. اما بحث خام‌ها (= خودم انجام می‌دهم یا DIM یا Do it myself) به نوعی به همین مکانیزم‌های ارسال اشاره داشت. قبلاً وقتی رویدادی اتفاق می‌افتاد، خبرنگاران حرفه‌ای بودند که آن را منعکس می‌کردند. اکثر مردم دریافت‌کننده بودند و ارسال‌کنندگان، اصول و قواعد ارسال را می‌دانستند و می‌فهمیدند. الان، توییترها و عکس‌ها و فیلم‌هایی که حاضران غیرحرفه‌ای ارسال می‌کنند، عملاً دینامیک متفاوتی را در جامعه شکل می‌دهد. می‌دانیم که DIY یا Do It Yourself یک مدل اقتصادی ارزشمند است. تولیدکنندگان موبایل می‌گویند، چرا به سراغ عکاسان بروید؟ خودتان عکاس زندگی خود باشید. کسانی مثل آمازون می‌گویند چرا برای چاپ کتاب به سراغ ناشران سنتی بروید، خودتان با پلتفرم‌هایی مثل KDP کتاب‌تان را چاپ کنید. سایت‌های آموزشی می‌گویند چرا به سراغ دانشگاه‌ها بروید. خودتان بیاموزید. GPS‌ها می‌گویند چرا مسیر مناسب را از پلیس بپرسید. خودتان بیابید. برای پیشنهاد بهترین مسیر هم از اطلاعات کسان دیگری مثل خودتان استفاده کنید. تلگرام می‌گوید چرا به سراغ رسانه‌های رسمی بزرگ بروید؟ خودتان کانال تأسیس کنید. قاعداً اقتصاد DIY یا اقتصاد خام‌ها، بخش مهمی از

اساساً اتفاقی که در دوران جدید با شکل‌گیری اینترنت اشیاء افتاده است و نیز پایین آمدن قیمت تولید سنسورها که باعث شده تعداد زیادی از آنها هر یک از ما را کنترل کرده و اطلاعات‌مان را به بخش‌های دیگر سیستم ارسال کند، عملاً جامعه‌ی متفاوتی را خلق می‌کند.^{۲۷۲}

سوال سوم: هر یک از موجودات چه هدفی را دنبال می‌کنند؟

می‌توانیم خوش‌بین باشیم و فکر کنیم که هر یک از اعضای سوارم، به منافع کل سوارم فکر می‌کند. اما چنین فرضی بر خطاهای متعدد استوار است.

اول اینکه اصلاً یکی از اعضای سوارم، چرا باید به منافع کل سوارم فکر کند؟ اگر در سطح مورچه و زنبور و ماهی فکر کنیم، به نظر می‌رسد چنین سطحی از ادراک وجود ندارد. اگر سوارم انسانی را هم در نظر بگیریم، تجربه نشان داده است که انسان‌ها هم، عموماً منافع خود را بر منافع جمع ترجیح می‌دهند. حتی مروری دقیق و موشکافانه بر کتاب‌هایی که تفکر سیستمی می‌آموزند به ما نشان خواهد داد که محرک اصلی در آموزش تفکر سیستمی هم این است که مراقب منافع سیستم باشید تا منافع خودتان در بلندمدت حفظ شود.

پیچیدگی‌های بیشتر و عمیق‌تری هم وجود دارد. آیا اصلاً منافع سوارم قابل تعریف است؟ آیا ما می‌توانیم بگوییم به نفع یک منطقه‌ی جغرافیایی است که مردم ساکن در آن، زنده بمانند و رشد کنند؟ آیا در بلندمدت، حذف کامل مردم در یک منطقه یا مردن آنها از قحطی و گرسنگی، نمی‌تواند منافع آن منطقه را تامین کند؟ آیا اصلاً انقراض انسان‌ها به ضرر زمین است؟ آیا به تعبیر حافظ، حالا که این عالم خاکی آدمی درخور ندیده است، حق نداریم به عالمی دیگر و آدمی دیگر فکر کنیم؟^{۲۷۳}

گردش مالی امروز و فردای انسان‌ها را تشکیل می‌دهد. نمی‌توان به سادگی از توسعه‌ی آن جلوگیری کرد. حتی نمی‌توان به سادگی برچسب مفید یا مضر بر روی آن زد. اما مهم است بدانیم که جامعه‌ی انسانی که بنای خود را بر DIY می‌گذارد به موجودی متفاوت تبدیل می‌شود که ویژگی‌ها، خواسته‌ها، رفتارها و انتظاراتش به آن جامعه‌ی تاریخی که در طول هزاران سال گذشته تجربه و مشاهده کرده‌ایم، شباهت چندانی ندارد.

^{۲۷۲} در ابتدا که تکنولوژی‌های مختلف مثل ساعت هوشمند و موبایل با قابلیت سنجش ضربان قلب و گام‌شمار و اپلیکیشن‌های سنجش میزان غلتیدن در خواب عرضه شد، یک اصطلاح به شدت رایج شد: Quantified Self یا «منِ عددی شده». این تعبیر، بیشتر به آن معنا به کار می‌رفت که انسان‌ها دیگر می‌توانند عادت‌ها و رفتارها و پارامترهای فیزیولوژیک خود را بهتر و دقیق‌تر بررسی کنند. آن زمان، کمتر به این مسئله فکر می‌شد که ارسال انبوه این اطلاعات در بستر اینترنت به سرورهای مختلف و شرکت‌های متفاوت، هم‌زمان با Quantified Self چیزی به نام Quantified Society هم به وجود می‌آورد. اغراق نیست اگر بگوییم «منِ عددی شده» هنوز به صورت کامل شکل نگرفته بود که «جامعه‌ی عددی شده» متولد شد و رشد کرد. البته این پاورقی‌ها باید هر کدام در آینده به فصلی مستقل تبدیل شوند تا توضیحات‌شان شفاف و ملموس و مفید باشد. آنها را صرفاً اینجا می‌نویسم تا خواننده بداند برای چه چنین بحثی آغاز شده و قرار بوده (یا هست) که سرانجام این صحبت‌ها چه باشد.

^{۲۷۳} آدمی در عالم خاکی نمی‌آید پدید، عالمی دیگر نباید ساخت و ز نو آدمی

آیا منقرض شدن گونه‌های زیادی از دایناسورها نهایتاً زمین را به وضعیت بهتری نرسانده است؟ اصلاً آیا وضعیت بهتر و بدتری برای زمین قابل تعریف است؟ به قول ویلسون، انسان‌ها به شکلی از حفظ محیط زیست حرف می‌زنند که انگار، زمین نیازمند آنهاست. در حالی که انسان‌ها حداکثر می‌توانند به محیط زیست خودشان فکر کنند. سیستم ایمنی زمین، ما انسان‌ها را اتفاقی بسیار کوتاه‌مدت در مقایسه با عمر بلندمدت خویش می‌بیند. زمین حتی خاطره‌ی انقراض ما را هم از یاد خواهد برد؛ چنانکه امروز هم، در یافتن فسیل بسیاری از گونه‌های منقرض شده ناتوانیم.

در چنین وضعیتی، شاید حرف زدن از منافع اعضا و منافع سوآرم صرفاً یک بازی کلامی باشد. بسیار عینی‌تر است که در مورد منافع افراد حرف بزنیم تا منافع جامعه^{۲۷۴}.

پس وقتی از جامعه‌ی زنبورها حرف می‌زنیم، منطقی است بپرسیم یک زنبور برای دستیابی به چه هدفی در زندگی خود تلاش می‌کند؟ همین سوال را می‌تواند در مورد ماهی و در مورد انسان هم پرسید.

سال‌هاست معلم‌های فیزیک با همین شیوه به ما درک طبیعت را آموخته‌اند. حتماً به خاطر دارید که می‌گفتند آب می‌کوشد انرژی پتانسیل خود را تخلیه کند یا تلاش می‌کند سطح خود را در دو ظرف مرتبط، برابر کند. حرف زدن از هدف‌های هر المان در یک سیستم، اتفاق تازه‌ای نیست.

سوال چهارم: هر یک از المان‌های سوآرم چه تعاملی با دیگر المان‌ها دارد؟

سوآلی که در اینجا پیچ و میلر مطرح می‌کنند از جنس رفتار است و البته رفتار را هم از جنس اثرگذاری تعریف می‌کنند. اگر بخواهم از مثال ماهی‌های خودمان استفاده کنم، اینکه ماهی دیگر حرکت می‌کند و این ماهی با چشم او را می‌بیند و حرکت خود را با او هماهنگ می‌کند از جنس دریافت اطلاعات است.

اما اگر یک ماهی با حرکت خود فضا را برای ماهی دیگر تنگ کند و ماهی دوم مجبور شود مسیر خود را تغییر دهد آن را از جنس رفتار و تعامل طبقه‌بندی می‌کنیم. این نوع رفتارهای متقابل معمولاً در بستر محیط انجام می‌شوند. گاهی هم اعضای سوآرم با یک رفتار یا حرکت، تغییری در محیط ایجاد می‌کنند و این تغییر عملاً سایر اعضا را به تغییر رفتار و تصمیم سوق می‌دهد.

^{۲۷۴} در واقع، مفهوم دولت که طی چند قرن اخیر شکل گرفته است، دقیقاً نمادی از این نگرش است. دولت، نهادی است که از دل مردم برمی‌آید تا منافع تک تک آن مردم و نه منافع جامعه را تامین کند. اساساً منافع جامعه قابل تعریف نیست و به خوبی دیده‌ایم که هرگاه سیاستمداران از منافع در مقیاس کلان حرف می‌زنند، بیشتر حزب خود را مد نظر دارند و موفقیت یک دولت، در تلاش برای تامین حقوق و منافع تک تک افراد ملت است.

اگر بخواهیم شبکه‌های اجتماعی را به عنوان یک نمونه‌ی خیلی خوب از سوآرم انتخاب کنیم و مدل پیچ و میلر را در مورد آن به کار بگیریم، کاری مثل لایک کردن مطلب فرد دیگر از جنس **ارسال اطلاعات** است. اما رپورت کردن یک اکانت از جنس رفتار است. چون فضای فعالیت آن اکانت را تغییر می‌دهیم.^{۲۷۵}

در اینجا تاکید بر هم‌زمانی وجود ندارد. به عنوان مثال، ممکن است یکی از اعضای سوآرم در این لحظه رفتاری را انجام دهد که در لحظه‌ی نامشخصی در آینده رفتار و تصمیم‌ها و انتخاب‌های یک عضو یا تعدادی از اعضای دیگر تحت تاثیر قرار بگیرد.

در مثال مورچه‌ها به عنوان یکی از کلاسیک‌ترین مثال‌های سوآرم - که قبلاً به آن اشاره کردم - ترشح فرومون نمونه‌ی بسیار خوبی از رفتار است. در این لحظه یک مورچه این رفتار را انجام می‌دهد تا در لحظه‌ی دیگری مورچه‌ی دیگری هنگام مواجهه با این فرومون در محیط و بستر حرکت خود، مسیرش را انتخاب کند.

سوال پنجم: پاداش و تنبیه‌ها برای هر عضو از سوآرم

کلمه‌ی کلیدی در این بخش از بحث، **دستاورد** است.^{۲۷۶} به این معنا که رفتارهای هر یک از اجزاء مجموعه و اطلاعاتی که دریافت می‌کند و نیز اطلاعاتی که ارسال می‌کند در نهایت برای او چه پاداش و نتیجه‌ای به همراه خواهد داشت. اگر چه **دستاورد** معمولاً بار معنایی مثبت دارد، اما قرارداد بین ما این باشد که **دستاورد** شامل **دست‌داده** هم بشود.^{۲۷۷} بنابراین، هر اتفاق خوب یا بدی که برای یک عضو از اعضای سوآرم در اثر یک رفتار یا تبادل اطلاعات روی دهد را (چه مطلوب و چه نامطلوب) به عنوان **دستاورد** آن رفتار یا آن تبادل و تعامل در نظر خواهیم گرفت.

^{۲۷۵} اینجا فضای مناسب این بحث نیست. اما وقتی به مدل‌سازی شبکه‌های اجتماعی برسیم باید توضیح بدهم و خیلی دقیق صحبت کنیم که رپورت کردن با بلاک کردن یک تفاوت عمیق و ساختاری دارد. وقتی کسی یک اکانت را رپورت می‌کند در اکثر پلتفرم‌های اجتماعی اتفاق مشخصی نمی‌افتد. مگر اینکه تعداد رپورت‌ها از حد مشخصی بیشتر باشد. بنابراین به تدریج محیط یک اکانت تغییر می‌کند و تنگ‌تر می‌شود و به جایی می‌رسد که می‌بند فضا برای فعالیتش محدود شده یا وجود ندارد. اما اگر یک صاحب یک اکانت، اکانت فرد دیگری را بلاک کند، صرفاً فرایند دریافت اطلاعات را قطع کرده است (سوال اول از سوال‌های مدل پیچ و میلر).

^{۲۷۶} اگرچه واژه‌هایی مانند Outcome و Fitness Change و Result و Payoff و Reward و Punishment و Incentive در ادبیات سوآرم به کار می‌روند و همگی کمابیش برای انتقال یک مفهوم استفاده می‌شوند؛ اما من در انگلیسی Payoff را ترجیح می‌دهم و در فارسی هر جا مفهوم Payoff در ذهنم باشد، واژه‌ی **دستاورد** را به کار خواهد برد.

^{۲۷۷} اگر مفهوم به دست آوردن را با **دستاورد** بیان می‌کنیم، به نظرم از دست دادن را هم حق داریم با **دست‌داده** مورد اشاره قرار دهیم.

قاعدتاً خواننده در اینجا به این سوال فکر خواهد کرد که **مطلوب** و **نامطلوب** بودن را بر اساس چه متر و معیاری می‌سنجیم؟ همان‌طور که احتمالاً حدس می‌زنید سوال سوم، یعنی **هدفی که هر یک از اجزاء سیستم دنبال می‌کند معیار** **سنجش مطلوب و نامطلوب بودن خواهد بود.**

دستاورد می‌تواند مستقیم یا غیرمستقیم، همزمان یا غیرهمزمان باشد. سیر شدن - یا رهایی از گرسنگی - دستاورد مستقیم غذا خوردن ماست و شغل بهتر، می‌تواند دستاورد غیرمستقیم تحصیلات دانشگاهی باشد.

منظور از دستاورد غیرمستقیم این است که **ساختار محیط** مشخص می‌کند که دستاورد تصمیم و تعامل و رفتار ما چه باشد. بنابراین، ممکن است یک تصمیم یا رفتار یا تعامل مشخص امروز و در این لحظه دستاوردی متفاوت با دستاورد آن در گذشته یا دستاورد آن در نقطه‌ی دیگری از سیستم داشته باشد.

تغییر مکانیزم پاداش و تنبیه در سوآرم می‌تواند ماهیت و دینامیک رفتاری و سرنوشت آن سوآرم را به کلی تغییر دهد. باز هم شاید مثال شبکه‌های اجتماعی در عین پیچیده‌تر بودن، قابل درک‌تر باشد^{۲۷۸}.

در بسیاری از پلتفرم‌های اجتماعی، افزایش تعداد فالوورها یکی از اهداف است. اگر هم هدف اولیه نباشد، کمتر کسی را دیده‌ام که رشد فالوورها را یک شکست برای خود تلقی کند^{۲۷۹}.

اگر **افزایش تعداد فالوور** را از جنس دستاورد در نظر بگیریم، می‌توانیم در پاسخ به سوال پنجم پیچ و میلر بگوییم که چه رفتارهایی در پلتفرم‌های اجتماعی پاداش می‌گیرند و چه رفتارهایی به تنبیه منتهی خواهند شد.

کسانی که از پلتفرم‌های اجتماعی یا شبکه‌های ارتباطی مدرن برای ایجاد تغییر در محیط خود - جامعه، کشور، جهان - استفاده می‌کنند، دیر یا زود می‌آموزند که **دستاورد واقعی** از جنس **ایجاد درگیری ذهنی**^{۲۸۰} برای مخاطبان یا اطرافیان یا فالوورهاست و این هدف، الزاماً با هدف قبلی (افزایش مخاطب) همسو و هم‌معنا نیست.

^{۲۷۸} قبلاً هم بارها گفته‌ام و در همین کتاب هم نوشته‌ام که این بخت خوب ما بوده است که در دوران ظهور و رشد شبکه‌های اجتماعی متولد شده‌ایم. مشاهده‌ی رشد، بلوغ و افول شبکه‌های اجتماعی متعدد از Myspace و Orkut تا Facebook و Instagram و Twitter و Stumbleupon باعث شده که ما برخی از مفاهیم دشوارفهم پیچیدگی را به سادگی ببینیم و تجربه کنیم و در نگاه من، اگر این تنها دستاورد این نوزاد تازه‌ی بشر باشد، اگر دست‌داده‌ی آن کل زندگی گونه‌ی بشر هم باشد، نمی‌توان آن را به سادگی یک باخت بزرگ برای اکوسیستم زمین دانست.

^{۲۷۹} من جزو همان کمتر کسی‌ها هستم. قبلاً هم نوشته‌ام که بعد از مشاهده‌ی رشد فالوورها در اینستاگرام استفاده از اکانت شخصی خودم را متوقف کردم. چون متوجه شدم که زمین اشتباهی را برای زندگی انتخاب کرده‌ام.

همچنین کسانی که از این پلتفرم‌ها برای کسب و کار استفاده می‌کنند احتمالاً بعد از مدتی می‌آموزند که حتی اگر حرف اول در حضور دیجیتال را **نرخ تبدیل**^{۲۸۱} نزنند، برگ آخر بازی را قطعاً **نرخ تبدیل** روی میز خواهد گذاشت.

البته هنوز هم کم نیستند کسانی که **نرخ تبدیل** و **نرخ درگیر کردن** و **تعداد مخاطب** را هم معنا یا لااقل مربوط به یکدیگر در نظر می‌گیرند. اما فکر می‌کنم کمی تجربه‌ی زندگی آگاهانه در شبکه‌ها و پلتفرم‌های اجتماعی به هر فرد دقیقی نشان خواهد داد که این سه الزاماً از یک چیز حرف نمی‌زنند.

حالا به عنوان تمرین می‌توانید فرض کنید فهرستی از کل اکانت‌های فیس بوک یا کل کانال‌های تلگرام یا کل اکانت‌های توییتر در ایران یا جهان دارید. قرار است کنار هر کدام فقط **یک مورد** از **سه مورد بالا** را بنویسید. یعنی بگویید هدف اول این اکانت، **درگیر کردن مخاطب** است یا **تبدیل کردن مخاطب** یا **افزایش مخاطب**. حتی اگر یک اکانت هر سه هدف را تعقیب کند، می‌شود با کمی دقت قضاوت کرد که اولویت اول آن کدام است. خوشبختانه در اینجا ادعاها و اظهارنظرهای مدیران آن اکانت هیچ اهمیتی ندارد. مهم رفتار اکانت و تعاملی است که با بقیه‌ی اکوسیستم اجتماعی برقرار کرده است.

در پایان این تمرین فرضی - که انجام دادن عملی کامل آن امروز برای خواننده‌ی این نوشته امکان‌پذیر نیست - می‌توانید به سوال مهم‌تری فکر کنید:

الان شما می‌توانید سهم هر یک از سه هدف را در این **سوارم دیجیتال اجتماعی** ببینید یا برآورد کنید^{۲۸۲}. حالا فکر کنید با تبلیغ یا اطلاع‌رسانی یا آموزش یا تغییر خط‌مشی یک شبکه، سهم هر یک از این سه هدف تغییر کند. به سادگی می‌توانید تصور کنید که **موجود دیجیتال دیگری** شکل خواهد گرفت^{۲۸۳}.

در فصل پایانی این کتاب - که نمی‌دانم چقدر مانده تا به آنجا برسیم - در مورد **تابع دستاورد انسان‌ها** در سوارم بزرگ انسانی زمین صحبت خواهیم کرد. به علت تنوع مغزهای ما که خود یکی از بهترین نمونه‌های سیستم‌های پیچیده‌ی خودسازمان‌ده و یک سوارم از نوروها هستند، تابع‌های **دستاورد** هم برای همه‌ی ما یکسان نیست و می‌توان به این سوال

^{۲۸۱} Conversion Rate

^{۲۸۲} برای آینده‌ی کتاب: یک کار زیبا در تحلیل و مقایسه شبکه‌های اجتماعی این است که ببینیم هر کدام از آنها، به صورت ذاتی اعضای خود را بیشتر به سمت کدامیک از هدف‌ها سوق می‌دهند. بزرگان ما به درستی گفته‌اند که تکنولوژی خنثی نیست. این را در مورد **شبکه‌های اجتماعی** و سایر پلتفرم‌های سوارم هم می‌توان گفت و مورد توجه قرار داد.

^{۲۸۳} فکر می‌کنم هنوز هم یک تمرین ارزشمند و عملی وجود داشته باشد. آن هم اینکه اگر در یک فضای مشخص کار می‌کنید، مثلاً وبلاگ می‌نویسید یا تدریس می‌کنید یا کالا و خدمت خاصی را می‌شناسید، به این فکر کنید که در میان مجموعه رقیبان شما، هر کدام تابع **Payoff** و دستاورد خود را کدام مورد از موارد بالا تعریف کرده‌اند. سپس فکر کنید که بر این اساس می‌توانید چه پیش‌بینی‌هایی در مورد روندهای آینده‌ی بازار خود داشته باشید.

پرداخت که چه گزینه‌هایی برای تابع دستاورد وجود دارد و هر یک از ما چه سبدی از آنها را انتخاب کرده‌ایم و سرنوشت این سوآرم انسانی یا به تعبیر دقیق‌تر سوپراورگانسیم که بعضی به آن **جامعه‌ی بشری** نیز می‌گویند چگونه بر اساس این هدف‌ها تعیین خواهد شد.

سوال ششم: پیش‌بینی رفتار اعضای دیگر سوآرم

آیا هر یک از اعضای این سوآرم، رفتار آتی سایر اعضا را پیش‌بینی می‌کند؟ در اینجا منظورمان از پیش‌بینی، حدس زدن دقیق و درست رفتار نیست. بلکه صرفاً قرار دادن داده‌های مربوط به پیش‌بینی در کنار داده‌های مربوط به وضعیت موجود است.

اگر این نوع پیش‌بینی انجام می‌شود، چگونه بر رفتار و تصمیم‌های هر عضو از سوآرم تاثیر می‌گذارد؟

در اینجا ممکن است کسانی که کمی دقیق‌تر هستند، این سوال را نامناسب قلمداد کنند. آنها ممکن است بگویند: «مگر پیش‌بینی آینده بر اساس چیزی جز گذشته و وضعیت موجود شکل می‌گیرد؟ بنابراین پیش‌بینی کردن، یک فرایند مستقل آینده‌نگر نیست. بلکه صرفاً نوع متفاوتی از تحلیل گذشته است».

بگذارید این دیدگاه را به شکل دیگری توضیح دهم:

فرض کنید شما تا کنون ده مرتبه به من پول قرض داده‌اید.

گاهی اوقات پول را به موقع پس داده‌ام. گاهی دیر پس داده‌ام. یک مرتبه هم بخشی از پول را اساساً پس نداده‌ام و گفته‌ام توانایی بازپرداخت بدهی را ندارم.

اکنون برای یازدهمین بار از شما تقاضا می‌کنم که به من پول قرض بدهید.

شما با خود می‌گویید: «بر اساس آنچه در گذشته انجام داده و بر اساس پیش‌بینی من از نحوه‌ی رفتارم در این مورد جدید، ترجیح می‌دهم به او پول قرض ندهم.»

آیا در اینجا بر اساس **یازده قطعه‌ی اطلاعاتی** (ده تجربه و یک پیش‌بینی) تصمیم گرفته‌اید؟ یا تصمیم شما بر اساس ده **قطعه‌ی اطلاعاتی** (تاریخچه تعامل‌های قبلی به علاوه یک جمع‌بندی از همان‌ها) استوار است؟

پاسخی که می‌توان برای این پرسش مطرح کرد، این است که ما در اینجا از مدل‌سازی سوارم حرف می‌زنیم. هر نوع تعریفی که مدل‌سازی را ساده‌تر و نتیجه‌ی آن را قابل اتکاتر کند ارزشمند است. هدف مدل‌سازی، مدل کردن ساختار یک سیستم نیست. بلکه معمولاً مدل کردن رفتار آن سیستم است.^{۲۸۴}

بنابراین، ممکن است ما در مورد پیش‌بینی رفتار سایر اعضا صحبت کنیم و بگوییم که در مورد پرواز جمعی پرندگان این نوع پیش‌بینی وجود ندارد؛ اما انسان‌ها رفتار یکدیگر را پیش‌بینی می‌کنند و پیش‌بینی آنها از رفتار فردای من بر تصمیم و رفتار امروز ایشان نقش دارد.

هر کدام از این دو مدل که تعریف و پیاده‌سازی آنها ساده‌تر باشد و نتیجه‌ی بهتری از رفتارهای کلان سوارم به دست دهند، ارزشمندتر هستند. مستقل از اینکه نگاه ما در مورد توانایی پیش‌بینی انسان چیست؛ یا اینکه فکر کنیم شاید کدهای ژنتیکی پرندگان، بخشی از مکانیزم‌های پیش‌بینی را در سخت‌افزار آنها تعبیه کرده است.

سوال هفتم: چه سطحی از پیچیدگی ذهنی را می‌توان برای هر عضو از سوارم در نظر گرفت؟

بعد از توضیحاتی که درباره‌ی سوال ششم مطرح کردم، احتمالاً اینجا مجبور نیستم در مورد ذهن، اشاره‌های مشابهی داشته باشم. ما در اینجا قصد نداریم تعریفی دقیق از ذهن ارائه دهیم.^{۲۸۵} بسیاری از ما فکر می‌کنیم ذهن انسان پیچیده‌تر از ذهن سگ و ذهن سگ پیچیده‌تر از ذهن مورچه است. برای یک باکتری هم که عضوی از کلونی باکتری‌هاست، معمولاً چیزی به نام ذهن در نظر نمی‌گیریم.

بر این اساس، به نظر می‌رسد هر چه رفتار یک عضو از سوارم، مکانیکی‌تر و اتوماتیک‌تر و تکرارپذیرتر و پیش‌بینی‌پذیرتر باشد، پیچیدگی ذهنی آن عضو را کمتر فرض می‌کنیم.^{۲۸۶}

^{۲۸۴} این حرف من، اما و اگرهایی دارد و بحث‌ها و مثال‌های زیادی می‌توان در موردش مطرح کرد. مثلاً ممکن است کسی بگوید یک برنامه‌ی شطرنج را در نظر بگیرید که دقیقاً مانند انسان یا بهتر از انسان بازی می‌کند. برای بازی کردن هم درختی کامل از حرکت‌ها را استخراج می‌کند و بر اساس آنها تصمیم می‌گیرد. در اینجا رفتار برنامه مشابه رفتار ما انسان‌ها است. اما ساختار آن مشابه ساختار مغز ما نیست. آیا باید این مدل را دوست داشته باشیم و از آن راضی باشیم؟ اگر کسی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، برنامه‌ی شطرنجی بنویسد که ضعیف‌تر از ما بازی کند، اما مکانیزم عملکرد آن شبیه ساختار نورونی مغز ما باشد، آیا حق نداریم این برنامه را مدل‌سازی بهتری بدانیم؟ این بحث حاشیه‌های زیبا و جذاب و آموزنده‌ای دارد که می‌توان یک فصل کامل را به آن اختصاص داد. این پاورقی را صرفاً از آن جهت نوشتم که خواننده بداند چالش‌های این بحث را فراموش نکرده‌ام و صرفاً به بخش‌های آتی این کتاب موکول کرده‌ام.

^{۲۸۵} البته بخش مهمی از ادامه‌ی کتاب به این بحث اختصاص پیدا خواهد کرد.

^{۲۸۶} سوال زیبایی که می‌شود به آن فکر کنیم و در فصل‌های بعد باید به آن برگردیم این است که: فرض کنید در سالن انتظار یک سازمان امنیتی فوق مدرن، یک حشره می‌بینید که تا کنون نمونه‌ای از آن ندیده‌اید. این حشره در یک اتاقک شیشه‌ای است و شما از بیرون به آن نگاه می‌کنید و هیچ دسترسی به آن ندارید. به شما گفته‌اند که این حشره، یک روبات بسیار هوشمند در ابعاد بسیار کوچک است که قرار است از آن برای جاسوسی استفاده شود. شما فکر

سوال هشتم: چه سطحی از ساده‌سازی یا پیچیده‌سازی ضروری است؟

فرض کنید شما قرار است نقش محققی را که بر روی حرکت گروه ماهی‌ها مطالعه می‌کند بر عهده بگیرید. آیا باید وزن ماهی‌ها را هم ثبت و کنترل کنید؟ آیا مصرف غذای روزانه‌ی ماهی‌ها مهم است؟ آیا عکس‌برداری از بالا کافی است یا باید حرکت ماهی‌ها در سطح عمودی (به عمق کمتر یا بیشتر) را هم ثبت و اندازه‌گیری کنیم؟

فرض کنید می‌خواهیم رفتار ایرانیان در یکی از شبکه‌های اجتماعی را بررسی کنیم. به عبارتی، به جای سوآرم موربانه‌ها، سوآرم انسان‌ها را مورد مطالعه قرار دهیم. در مورد هر انسان - به عنوان المان سازنده‌ی سوآرم - می‌خواهیم به هفت سوال قبل پاسخ دهیم. آیا مهم است که ابعاد فیزیکی انسان‌ها را هم بدانیم؟ آیا لازم است از تغذیه‌ی آنها خبر داشته باشیم؟ آیا لازم است قیمت موبایلی را که از آن استفاده می‌کنند بدانیم؟ آیا لازم است سیستم‌عامل مورد استفاده‌شان را در معادلات و محاسبات و پیش‌بینی‌ها و قضاوت‌ها لحاظ کنیم؟ آیا موقعیت جغرافیایی انسان‌ها مهم است؟

فرض کنید تمام اطلاعات مربوط به تمام پیام‌های ارسالی و دریافتی بین تمام کاربران تلگرام یا وایبر یا لاین در سراسر جهان در اختیار شما قرار گرفته است. قصد دارید با استفاده از این اطلاعات، رفتارهای اجتماعی انسان‌ها در پلتفرم مورد مطالعه را تحلیل کنید. آیا لازم دارید که سن فرستنده و گیرنده‌ی هر پیام را هم بدانید؟

احتمالاً خواهید گفت: حالا اطلاعات را به من بدهید، خودم تصمیم می‌گیرم. اما می‌دانیم که در دنیای واقعی، تهیه‌ی هر داده‌ای هزینه دارد.

بنابراین بگذارید سوال را به شکل دیگری مطرح کنم: مجموعه‌ی اطلاعات پیام‌های ارسالی و دریافتی در طول یک‌سال گذشته را به قیمت ده میلیون دلار در اختیار شما قرار می‌دهند. اما سن‌ها در یک دیتابیس مستقل است که شما باید برای آن قیمت پیشنهاد کنید. چه قیمتی برای آن پیشنهاد می‌دهید؟

واضح است که با توجه به نوع مدل‌سازی شما و هدفی که از مدل‌سازی و تحلیل سوآرم دارید، ارزش اطلاعات برای شما متفاوت خواهد بود. چون من در اینجا هدف مدل‌سازی را نگفته‌ام، شما هم نمی‌توانید ارزش یک بسته‌ی اضافی اطلاعات را برآورد کنید.

می‌کنید که سازمانی که این ادعا را کرده، بلوف می‌زند و این صرفاً یک حشره‌ی بسیار کمیاب است که در داخل محفظه‌ی شیشه‌ای حبس شده است. به هر علت، یک ساعت شما را در سالن آن سازمان با حشره‌ی درون جعبه‌ی شیشه‌ای تنها گذاشته‌اند. در این مدت، با وجودی که به حشره دسترسی ندارید، رفتارش را به خوبی مشاهده می‌کنید و حتی می‌توانید به شیشه ضربه بزنید. در نهایت چگونه متوجه می‌شوید که با یک حشره مواجه هستید یا روبات؟ این نوع سوال‌ها را در قالب Mindful بودن و Mindless بودن مورد بررسی قرار می‌دهند. واضح است که Mindful و Mindless یک طیف است که در نگاه یک انسان معمولی و متعارف، انسان نماد یک انتهای آن و سنگ نماد انتهای دیگر آن محسوب می‌شود (البته قرار نیست ما تا پایان این کتاب، روی این مدل باقی بمانیم).

اما اصل حرف، چیز دیگری است: وقتی کسب هر نوع اطلاعات و مطالعه‌ی هر نوع جزئیات، هزینه دارد. کسی که به مطالعه‌ی یک سوآرم می‌پردازد باید بتواند به درستی تشخیص دهد که چه سطحی از اطلاعات و جزئیات برای تحلیل او مناسب و مفید است.

هدف اصلی روش علمی این است که مطمئن بشوی طبیعت، تو را به شکلی فریب نداده است که به اشتباه فکر کنی در موردش چیزهایی می‌دانی که در واقع از آنها آگاهی نداری.

روبرت پیرسیگ

موضوع این فصل چیزی است که در ادبیات پیچیدگی Cellular Automata نامیده می‌شود. البته معمولاً برای سادگی تکرار و تلفظ، این تعبیر را به صورت CA خلاصه می‌کنند.^{۲۸۷} تا جایی که در فارسی دیده‌ام این عبارت را به ماشین‌های خودکار سلولی یا ساختارهای اتوماتیک سلولی یا چیزهایی شبیه این ترجمه می‌کنند.

من هم احتمالاً در بخش‌هایی از کتاب - که کمی جدی‌تر است - از تعبیر ماشین خودکار سلولی استفاده می‌کنم. اما حیفم می‌آید که گاهی تعبیر ماشین کوکی سلولی را به عنوان معادل Cellular Automata به کار نبرم. کوکی بودن در زبان ما تمام آن مفهومی را که اتوماتون در زبان انگلیسی می‌رساند در دل خود پنهان کرده است.

در زبان فارسی حتی واژه‌ی اتوماتیک هم به اندازه‌ی کوکی بودن نمی‌تواند مفهوم اتوماتون را منتقل کند.^{۲۸۸} استفاده از ماشین کوکی کمی هم با عنوان پارادایم دنیای کوکی که برای یکی از فصل‌های قبلی کتاب به کار بردم هم‌خوانی دارد.

^{۲۸۷} باید مراقب باشیم که CA به عنوان مخفف Cellular Automata را با CAS که مخفف Complex Adaptive System است اشتباه نگیریم. خصوصاً اینکه گاه در بحث پیچیدگی این دو کلمه را در نزدیکی یکدیگر می‌بینیم.

^{۲۸۸} ما در فارسی اتوماتیک را با بار معنایی مثبت به کار می‌بریم. انگار که اتوماتیک بودن نوعی هوشمندی است (به ماشین دنده اتوماتیک یا درهای اتوماتیک فکر کنید). اما کوکی بودن به معنای نوعی پاسخ ساده‌ی مکانیکی و کاملاً از پیش تعیین شده است و بر خلاف اتوماتیک، بار معنای منفی دارد. شاید آن شعر زیبای فروغ فرخ‌زاد را که عروسک کوکی نام دارد خوانده یا شنیده باشید:

می‌توان همچون عروسک‌های کوکی بود

با دو چشم شیشه‌ای دنیای خود را دید

می‌توان در جعبه‌ای ماهوت

با تنی انباشته از کاه

سال‌ها در لابه‌لای تور و پولک خفت

می‌توان با هر فشار هرزه‌ی دستی

بی‌سبب فریاد کرد و گفت:

آه، من بسیار خوشبختم.

این همان جنس کوکی بودن است که واژه‌ی اتوماتون یا Automaton در قلب خود پنهان کرده است. پاسخی ساده که مکانیکی بودن آن به سرعت آشکار می‌شود.

ماشین‌های کوکی سلولی در علوم مختلف کاربردهای متفاوت دارند



نه تنها در تحلیل سیستم‌های پیچیده، بلکه در بسیاری از کتابهای علوم دیگر هم، CA یا Cellular Automata فصلی از کتاب را به خود اختصاص می‌دهند. اینکه عنوان ماشین کوکی سلولی یا ماشین خودکار سلولی یا اتوماتا در کتاب‌های مختلف وجود دارد ممکن است ما را به این نتیجه برساند که همه‌ی نویسندگان به یک منظور و با یک پیام یکسان این ابزار را به خدمت گرفته‌اند.

این در حالی است که ماشین‌های کوکی سلولی در

رشته‌های مختلف علوم، کاربردهای متفاوتی دارند. فیزیک‌دان‌ها و شیمی‌دان‌ها از این ابزار برای هدف‌های مشابه استفاده نمی‌کنند. کسانی که در حوزه نرم‌افزار و فناوری اطلاعات به بحث الگوریتم علاقه‌مند هستند، ماشین‌های کوکی سلولی را برای درک بهتر پیچیدگی محاسباتی^{۲۸۹} مسئله‌ها به کار می‌برند. در زیست‌شناسی از ماشین‌های کوکی سلولی برای مدل‌سازی توزیع بیماری‌های مسری یا توسعه‌ی سرطان در بدن استفاده می‌کنند و خلاصه اینکه عنوان Cellular Automata و توضیحات اولیه‌ی آن که تقریباً در همه‌ی این علوم مشترک است، ممکن است ما را در این دام گرفتار کند که فکر کنیم با تکرار یک مسئله‌ی ثابت کلاسیک، صرفاً در لباسی متفاوت، مواجه هستیم.

به عنوان مثال، اگر کتاب پیچیدگی خانم ملانی میچل^{۲۹۰} را خوانده باشید، می‌دانید که او هم فصلی را به CA اختصاص داده است^{۲۹۱}. ایشان این بحث را در شرح مفهوم محاسبه^{۲۹۲} به کار برده‌اند. محاسبه، یکی از نخستین حوزه‌هایی است که ماشین‌های کوکی سلولی توانستند در آن جایگاه پیدا کنند.

^{۲۸۹} Computational complexity

^{۲۹۰} Mitchell, M. (2011). Complexity: a guided tour. New York: Oxford University Press.

^{۲۹۱} من ملانی میچل را صرفاً از این جهت مثال می‌زنم که در زمان نوشتن این کتاب، ترجمه‌ی آن به فارسی در بازار موجود است و احتمال بیشتری دارد که خواننده آن را دیده باشد.

^{۲۹۲} Computation

من در این فصل، با هدف متفاوتی به سراغ ماشین‌های کوکی سلولی می‌روم. هدف اصلی من از مطرح کردن این بحث، ارائه‌ی یک مثال ساده و جذاب از تعامل ساده‌ی اجزا در یک سیستم و ظهور^{۲۹۳} رفتارهای پیچیده در اثر قواعد ساده‌ی تعامل است.

بسیاری از راه‌ها از جان فون نویمان آغاز می‌شوند

مدام به من می‌گویید که ماشین محاسبه‌گر، یک سری کارها را نمی‌تواند انجام دهد. اگر به جای حرف‌های کلی و مبهم، بتوانید به صورت بسیار دقیق بگویید که چه کاری را نمی‌تواند انجام دهد، مطمئن باشید که من ماشینی می‌سازم که آن کار را انجام دهد.

کسانی که می‌گویند ریاضی سخت است، سختی و پیچیدگی‌های زندگی را متوجه نشده‌اند. وگرنه هرگز چنین حرفی نمی‌زدند.

جان فون نویمان

می‌شود بحث ماشین‌های کوکی را بسیار مستقیم و صرفاً با اشاره‌ای کوتاه به نام نویمان آغاز کرد. اما راستش را بخواهید حیفم می‌آید حالا که به بهانه‌ی CA می‌توانم نامی از جان فون نویمان ببرم، به سادگی این فرصت را از دست بدهم.



نویمان هم زود مُرد. بسیار زود و در سن پنجاه و چهارسالگی. مثل بولتزمن و تورینگ و بسیاری از نابغه‌های عصر جدید.

ظاهراً همه‌ی این بزرگانِ علمِ «محاسبه» که هر سال از عمرشان ابزارها و اندیشه‌ی انسان را چند نسل به پیش رانده است، قراری ناگفته و نانوشته دارند تا زودتر از

انتظار از میان ما بروند. به این شیوه، ما هم چنان سرگرم «محاسبه» مانده‌ایم که اگر هر یک از اینها اندکی بیشتر عمر می‌کردند، علم امروز در چه وضعیتی قرار داشت.

^{۲۹۳} Emergence

بعید است بتوانید در مورد روند توسعه کامپیوتر و صنعت فناوری اطلاعات بنویسید و از نویمان نام نبرید. ری کورزویل برای کتاب کامپیوتر و مغز^{۲۹۴} که نویمان در سال ۱۹۵۸ منتشر کرد، در سال ۲۰۱۲ یک مقدمه‌ی زیبا نوشته است^{۲۹۵}. او در این مقدمه همه‌ی دستاوردهای کلیدی حوزه‌ی تکنولوژی در دوران معاصر را به پنج ایده نسبت می‌دهد. او یک سهم از این ایده‌ها را به آلن تورینگ و سهم دیگری را هم به کلاود شنون نسبت می‌دهد. اما سه سهم اصلی را حق جان فون نویمان می‌داند. جالب اینجاست که کورزویل که دنیا او را بیش از هر چیز با ایده‌ی تکینگی^{۲۹۶} می‌شناسد، صریحاً تأکید می‌کند که این ایده نیز نخستین بار به صورت جدی توسط نویمان مطرح شده است.

با این مقدمات، باید بگوییم که بحث ماشین‌های کوکی سلولی یا ماشین‌های خودکار سلولی هم نخستین بار در دهه‌ی چهل میلادی توسط نویمان و همکارش^{۲۹۷} مطرح شد.

البته این بحث بیش از بیست سال، در فضایی محدود باقی ماند و چندان فراگیر نشد. بعداً بحث بازی زندگی^{۲۹۸} که توسط جان کانوی^{۲۹۹} مطرح شد، کمک کرد تا بحث CA در فضای عمومی مطرح شود و به تدریج مورد توجه و استقبال قرار بگیرد.

بحث کلی CA یا ماشین‌های خودکار سلولی این است که فرض کنید فضایی دارید که به تعداد زیادی سلول تقسیم شده است. این فضا می‌تواند یک بعدی، دو بعدی و به طور کلی چند بعدی باشد. به عبارتی، محدودیتی در ابعاد فضا نداریم. تنها نکته‌ی مهم این است که باید آن را به تعداد زیادی خانه‌ها یا سلول‌های کوچک تقسیم کنیم. تصویر زیر نمونه یک شبکه بندی سلولی دو بعدی را نشان می‌دهد:

^{۲۹۴} Neumann, J. V., & Kurzweil, R. (2012). The computer and the brain. New Haven: Yale University Press.

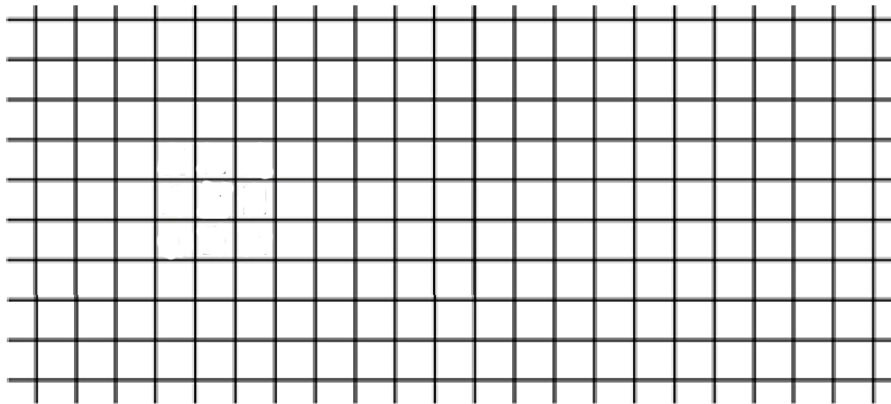
^{۲۹۵} حتی اگر حوصله‌ی خواندن یک کتاب کلاسیک حوزه فناوری اطلاعات را ندارید، همچنان مقدمه‌ی کورزویل را می‌توان به صورت یک متن مستقل آموزنده مطالعه کرد.

^{۲۹۶} Singularity

^{۲۹۷} نام همکار نویمان، استانیسلاو اولام (Stanislaw Ulam) بود. دوستی نزدیک و رابطه‌ی عاطفی میان آن دو داستان زیبایی دیگری است که بیرون از حوزه‌ی این کتاب است، اما فکر می‌کنم به خواندن و دانستنش می‌ارزد.

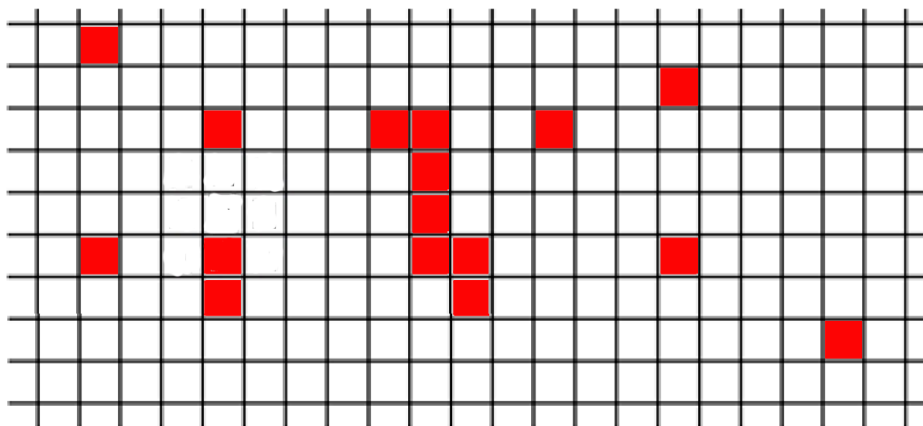
^{۲۹۸} Game of life

^{۲۹۹} John Conway



سپس باید مشخص کنیم که هر سلول می‌تواند چه وضعیت‌هایی داشته باشد. قاعده‌تاً ساده‌ترین حالت این است که بگوییم هر سلول تنها دو وضعیتِ فعال و غیرفعال یا صفر و یک دارد. اما می‌توانید هر چند وضعیت که لازم دارید برای سلول‌ها در نظر بگیرید^{۳۰۰}.

اگر برای هر سلول تنها دو وضعیت در نظر بگیریم، در هر لحظه می‌توان کل سیستم را به سادگی به شکل گرافیکی نمایش داد. تصویر زیر نمونه‌ای از وضعیت سیستم را نشان می‌دهد:

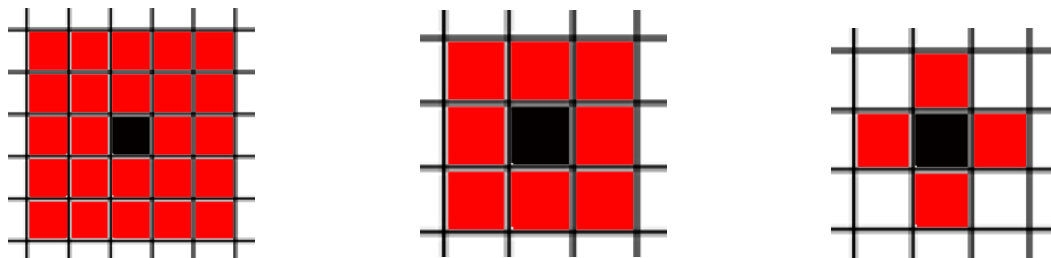


^{۳۰۰} در اینجا به بحث ما مربوط نیست. اما بعداً باید در جایی از کتاب توضیح بدهم که این مدل CA آن قدر ظرفیت و جذابیت دارد که ریچارد فاینمن پیشنهاد کرد همین مدل را با شکل متفاوتی از قواعد و تابع وضعیت، برای مدل‌سازی سیستم‌های کوانتومی به کار بگیرند. بحثی که امروز به نام QCA یا Quantum Cellular Automata مطرح است و شاید خواننده تحت عنوان محاسبه‌گرها یا کامپیوترهای چپ‌های کوانتومی در مورد آن شنیده و خوانده باشد.

خانه‌های رنگی، در وضعیت فعال (یک) قرار دارند و خانه‌های سفید در وضعیت غیرفعال (صفر) هستند. این تصویر احتمالاً باید شما را به یاد بحث سوآرم بیندازد. تنها محدودیتی که در اینجا وجود دارد این است که در سوآرم ما، هر عضو از نظر مکانی ثابت است و تنها یک «ویژگی» آن تغییر می‌کند.

حتماً به خاطر دارید که عصاره‌ی بحث سیستم پیچیده این است که هر یک از اعضا صرفاً با چند عضو در ارتباط هستند و از حالِ کلِ سیستم خبر ندارند؛ اما در نهایت کلِ سیستم در وضعیت کلان خود رفتارهایی را نشان می‌دهد که در وضعیت خرد اعضا ریشه دارد. بنابراین، با توجه به آنچه در فصل‌های قبل آموخته‌ایم، حالا لازم است که چیزی به اسم مفهوم همسایگی تعریف کنیم. به این معنی که بگوییم هر سلول یا هر خانه، دقیقاً با چه خانه‌های دیگری در ارتباط است. باز هم همه چیز قراردادی است و انتخاب و تصمیم‌گیری شما بستگی به این مسئله دارد که بخواهید در نهایت چه چیزی را مدل کنید و چه نوع سیستمی را تحلیل کنید.

هر یک از مدل‌های زیر می‌توانند قراردادی برای تعیین همسایگی باشند:

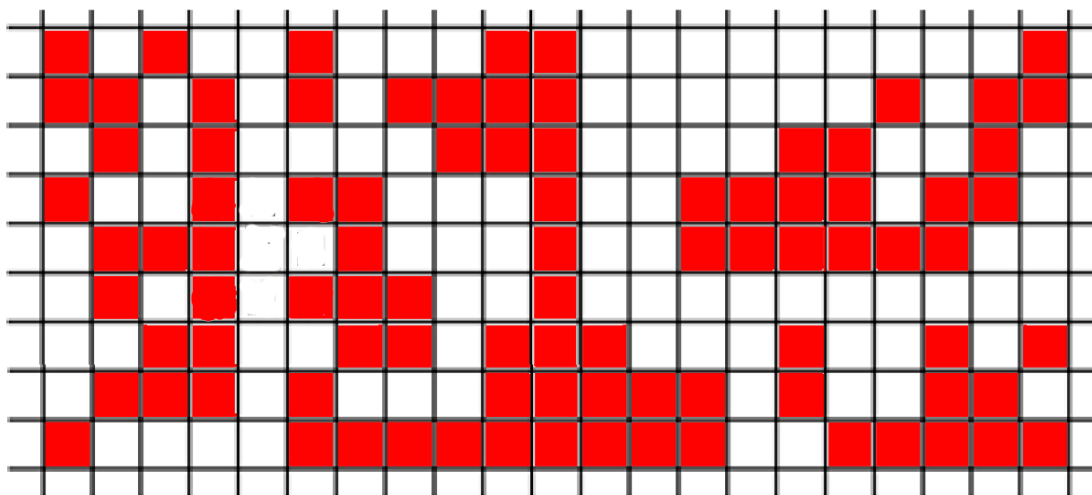


در مدل سمت راست، هر سلول با چهار سلول دیگر همسایه است. در مدل میانی، هر سلول هشت همسایه دارد و در مدل سمت چپ، برای هر سلول بیست و چهار همسایه در نظر گرفته‌ایم.

تا اینجا یک شبکه سلولی تعریف کرده‌ایم (که در مثال ما دوبعدی است). همچنین مشخص کرده‌ایم که هر سلول از این شبکه با چه سلول‌های دیگری همسایه «فرض» می‌شود. حالا باید بگوییم که این سلول‌ها چگونه با هم تبادل اطلاعات انجام می‌دهند یا به عبارت بهتر: وضعیت هر یک از آنها چگونه از وضعیت همسایگان خود تأثیر می‌پذیرد.

برای اینکه تأثیرپذیری و تبادل اطلاعات را مدل‌سازی کنیم، اجازه بدهید یک مثال ساده را مطرح کنم:

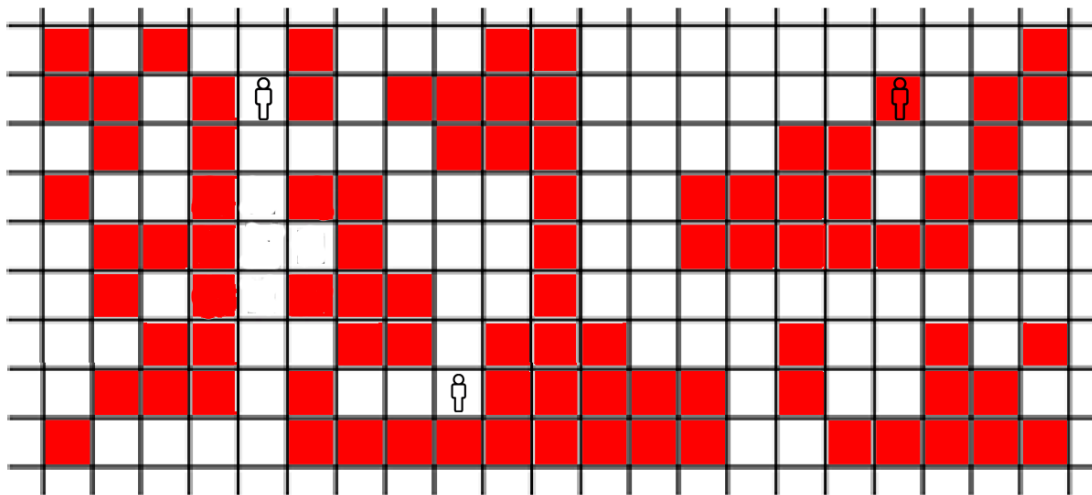
فرض کنید قرار است در این سرزمین سلولی یک انتخابات برگزار شود و دو کاندیدا وجود دارند. برخی می‌خواهند به نامزد سفید و برخی به نامزد قرمز رأی بدهند. وضعیت اولیه‌ی آرا به صورت زیر است:



همان‌طور که می‌بینید نزدیک به نیمی از ۱۸۹ نفر در این مجموعه می‌خواهند به نامزد قرمز رأی دهند (دقیقاً ۹۰ نفر). اما ماجرا اینجاست که فعلاً دو ماه تا انتخابات باقی مانده و هر روز هر کس با همسایه‌های خود در مورد انتخاب گزینه‌ی اصلح صحبت می‌کند. فرض کنیم برای هر نفر هشت همسایه در نظر بگیریم. مردم هر روز با همه‌ی هشت همسایه‌ی خود صحبت می‌کنند و شب در خلوت خودشان یک بار دیگر در رأی خود تجدید نظر می‌کنند. قواعد تأثیرگذاری و تبادل اطلاعات را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

- اگر دقیقاً چهار نفر بخواهند به نامزد قرمز و چهار نفر به نامزد سفید رأی بدهند، او بر همان رأی روز قبل خود باقی می‌ماند.
- اگر بیش از چهار نفر (پنج یا شش یا هفت یا هشت) نفر بخواهند به نامزد مشخصی (سفید یا قرمز) رأی بدهند، او هم رأی خود را با آنها تطبیق می‌دهد.

فردا صبح دوباره همه با تصمیم جدید خود روز را آغاز می‌کنند و با یکدیگر در مورد انتخابات بحث می‌کنند. پس هر روز همه‌ی ۱۸۹ نفر یک بار دیگر تصمیم خود را بررسی می‌کنند. من به عنوان نمونه دو نفر از آنها را به شما نشان می‌دهم:



فردی که در سمت راست بالای تصویر نمایش داده شده، شب که با خودش خلوت می‌کند، می‌بیند که هفت نفر از همسایگانش می‌خواهند به نامزد سفید رأی بدهند. پس به نتیجه می‌رسد که شاید انتخاب خودش نادرست است و او هم فردا به عنوان مدافع نامزد سفید روز را آغاز می‌کند.

فردی که در قسمت پایین تصویر نمایش داده شده، رأی سفید داشته است. اما در پایان روز وقتی می‌بیند که شش نفر از همسایگانش به نامزد قرمز رأی می‌دهند. بنابراین در تصمیم خود تجدید نظر می‌کند و فردا در دفاع از نامزد قرمز به میدان می‌رود.

فردی هم در سمت چپ بالای تصویر وجود دارد که رأی فعلی او نامزد سفید است. او در صحبت با همسایگان می‌بیند که چهار نفر می‌خواهند به نامزد قرمز و چهار نفر دیگر می‌خواهند به نامزد سفید رأی بدهند. پس در کل به نتیجه‌ی خاصی نمی‌رسد و بر همان رأی دیروز خود - که نامزد سفید بود - باقی می‌ماند.

من فقط برای شما سه نفر را مثال زدم. اما در واقع هر روز همه‌ی ۱۸۹ نفر که در دیاگرام می‌بینید همین برنامه را دارند. همان‌طور که می‌بینید **ماشینی کوک شده است** که هر روز به تدریج وضعیت آن تغییر می‌کند و البته هر فرد هم فکر می‌کند در حال تحلیل و تصمیم‌گیری و تبادل اطلاعات است. اما سهم رأی نامزدهای مختلف هر روز تغییر می‌کند تا به تدریج به روز انتخابات برسیم و سرنوشت مجموعه مشخص شود.

قطعاً مدل تصمیم‌گیری ما پیچیده‌تر از این مثال ساده است. اما اصل بحث این است که آنچه فون نویمان مطرح کرد، مدلی قدرتمند و دارای پتانسیل بالا بود که توانست مفید بودن خود را از طراحی ساده‌ی سیستم‌های دیجیتال، تا تحلیل تعاملات اجتماعی و حتی طراحی ساختارهای کوانتومی اثبات کند و به یکی از ابزارهای قدرتمند مدل‌سازی ما تبدیل شود.

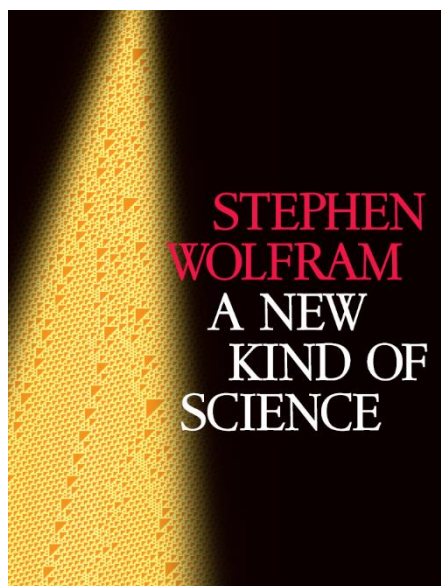
جان کانوی و بازی زندگی

همان‌طور که در ابتدای همین فصل اشاره کردم، بحث ماشین‌های کوکی یا همان CA، توسط نویمان آغاز شد. اما دو نفر دیگر به فراگیر شدن آن کمک کردند^{۳۰۱}: استیون ولفرام^{۳۰۲} و جان کانوی.

اگر چه پایه‌ی کار هر دو نفر بر مدل نویمان قرار دارد، اما مسیری که این دو طی کردند متفاوت است و دستاوردهای هر یک از آنها نیز کاربرد و کاربری متفاوتی دارد.

ولفرام مدل CA را در یک بُعد به کار گرفت و کانوی از همان مدل در دو بُعد استفاده کرد. بنابراین مثالی که در بخش قبل در مورد انتخابات در یک شبکه‌ی دو بُعدی مطرح کردم، به جنسِ کار کانوی نزدیک‌تر است.

من قصد ندارم حداقل در این بخش از نوشته، به مرور جدی و دقیق کار ولفرام بپردازم. اما از آنجا که نمی‌توان از بحث



CA بدون ذکر نام او عبور کرد، توضیحات مختصری را در مورد ولفرام ارائه می‌کنم.

برای شناخت ولفرام و نگاه او به بحث CA، یک مرجع بسیار ارزشمند وجود دارد که قطعاً بهترین مرجع هم هست. او در سال ۲۰۰۲ کتابی با عنوان یک نوع علم جدید^{۳۰۳} منتشر کرد و سعی کرد در این کتاب، بخش مهمی از ظرفیت‌های مدل CA را در فضای یک‌بعدی بررسی کند.

درک مبانی کار ولفرام چندان دشوار نیست.

او به جای همان جدول دوبعدی که ما در مثال انتخابات بررسی کردیم، از یک جدول یک‌بعدی استفاده می‌کند.

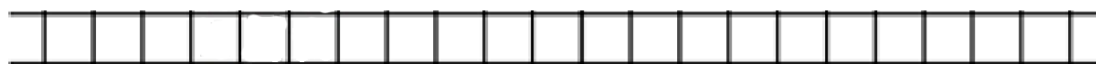
^{۳۰۱} در مطالعه‌ی تاریخ علم و مکاتب فکری و حتی در مرور روندهای توسعه تکنولوژی در دوران معاصر، نمونه‌های بسیاری را می‌بینیم که مطرح‌کننده یک ایده و کسی که آن ایده را تبلیغ کرده یا به نوعی فراگیر کرده است، از یکدیگر جدا هستند. این دو نقش در مارکسیسم، تا حدی بین مارکس و انگلس تقسیم شده‌اند. مشابه همین تقسیم کار در ساختارهای خودکار سلولی، بین نویمان و دو نفر دیگر (ولفرام و کانوی) وجود دارد. در تکامل هم با کمی اغماض همین تقسیم نقش را بین آلفرد والاس و داروین می‌بینیم (البته در این مورد، هر دو نفر به صورت مستقل نظریه‌پرداز بوده‌اند. اما می‌شود این‌گونه گفت که والاس‌ها بدون داروین‌ها دیده و شنیده نمی‌شوند). در حوزه‌ی تکنولوژی هم، امروز مثال‌های فراوانی وجود دارد که آنها که یک راهکار جدید را خلق یا طراحی کرده‌اند با آنها که همان راهکار را تجاری کرده و به صورت گسترده عرضه کرده‌اند، الزاماً یکسان نیستند.

^{۳۰۲} Stephen Wolfram

^{۳۰۳} Wolfram, S. (2002). A new kind of science. Champaign, IL: Wolfram Media.

بنابراین اگر بگوییم جهان نویمان می توانست هر چند بعد دلخواهی را داشته باشد، جهان کانوی صرفاً دو بعد و جهان ولفرام تنها یک بعد دارد.

باز هم بگذارید به همان زبان مدل انتخابات با هم صحبت کنیم: در مدل دوبعدی انتخاباتی ما، وضعیت آینده ی هر سلول، بر اساس وضعیت خودش و وضعیت هشت همسایه اش مشخص می شد. اما در اینجا فضا محدودتر است و وضعیت فردای هر سلول، بر اساس وضعیت امروز خودش و دو همسایه اش تعیین می شود^{۳۰۴}.

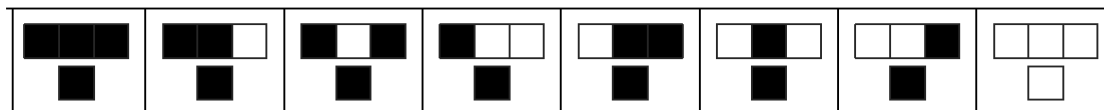


حالا می توانیم برای وضعیت اولیه ی هر خانه به صورت تصادفی، یکی از دو حالت فعال یا غیرفعال را در نظر بگیریم. مثلاً چنین وضعیتی می تواند نقطه ی شروع ماشین کوکی ولفرام باشد:



اگر به خاطر داشته باشید من در مورد مدل شبکه ی دوبعدی انتخابات، دو قانون تعریف کردم. اینجا هم باید قوانینی را تعریف کنیم.

شاید بهترین کار این باشد که دقیقاً یکی از تصاویری که خود ولفرام در کتابش استفاده می کند را نقل کنم:



خواندن این تصویر نباید برای شما دشوار باشد. ولفرام در این دیاگرام، هشت قانون را پیشنهاد کرده است.

^{۳۰۴} برای اینکه انتهای این جدول یا شبکه را چگونه در نظر بگیریم، الگوهای متفاوتی وجود دارد. اما یکی از رایج ترین و ساده ترین فرض ها این است که جهان کانوی و ولفرام را بسته در نظر بگیرید. یعنی فرض کنید این جدول ها از چپ و راست یا بالا و پایین به هم می رسند. در واقع اولین خانه ی سمت راست را با اولین خانه ی سمت چپ، همسایه فرض کنید.

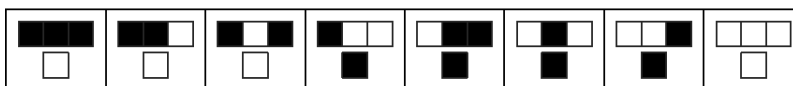
مثلاً قانون اول از سمت راست: اگر خانه ای خاموش بود و دو خانه ی همسایه اش هم خاموش بودند، در مرحله ی بعد خاموش می ماند. یا اگر بخواهیم ترجمه انتخاباتی انجام دهیم: اگر کسی می خواست به نامزد سفید رای دهد و امروز فهمید که همسایه ی چپ و راستش هم به نامزد سفید رای می دهند، فردا بر همان رای خود باقی می ماند.

قانون دوم از سمت چپ را هم به عنوان مثال بخوانیم: اگر خانه ای روشن بود و همسایه ی چپ آن خاموش و همسایه ی راستش روشن بود، در مرحله ی بعد روشن می ماند. باز هم با ادبیات انتخاباتی همین را می نویسم: اگر کسی می خواست به نامزد سیاه رای دهد و دید که همسایه ی چپ او به نامزد سیاه و همسایه ی راستش به نامزد سفید رای می دهد، فردای آن روز بر رای خود باقی می ماند.

این مجموعه ی هشت قانون که در اینجا می بینید، کاملاً تصادفی انتخاب شده است. اما در کل، فضای ولفرام محدود است و تعداد کل قوانین همسایگی که می توان تصور کرد، در این مدل تک بعدی چندان زیاد نیست^{۳۰۰}.

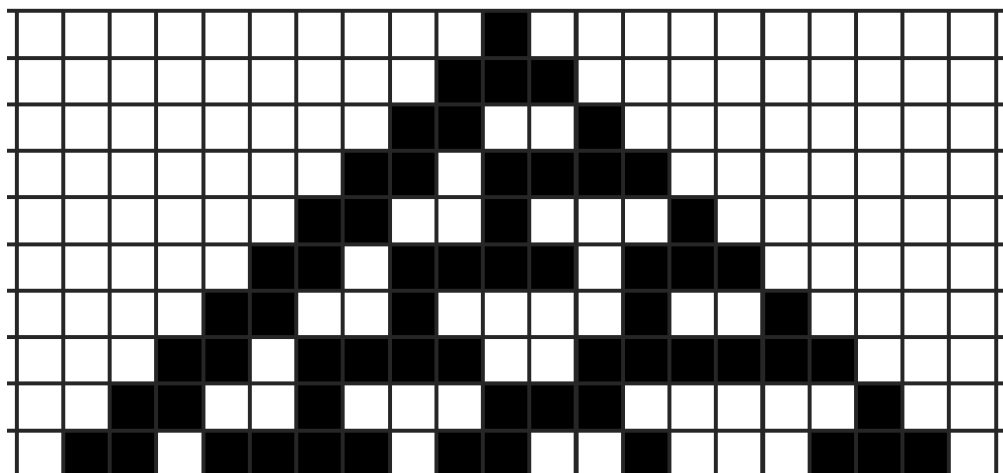
ولفرام در کتاب خود، شکل های بسیار متنوعی از قوانین همسایگی را مطرح و بررسی می کند. او مدام، وضعیت های اولیه ی متفاوتی را تعریف می کند و سعی می کند ماشین های کوکی خود را بر اساس قوانین متفاوت و شرایط اولیه ی متفاوت، شبیه سازی کند.

فکر می کنم مشاهده ی بخشی از کارهای ولفرام برای شما جالب باشد. او مثلاً چنین قانونی را برای همسایگی آزمایش می کند:

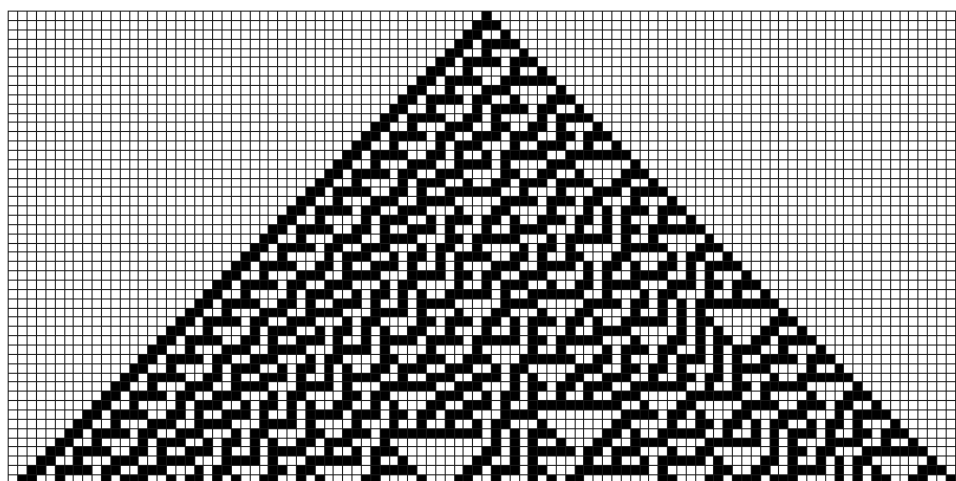


بعد وضعیت اولیه را یک خط کاملاً خالی در نظر می گیرد که فقط یک سلول در آن فعال (سیاه) است. سپس مرحله به مرحله شبیه سازی را انجام می دهد. او برای اینکه پیگیری مدل راحت تر باشد، هر مرحله را زیر مرحله ی قبل ترسیم می کند:

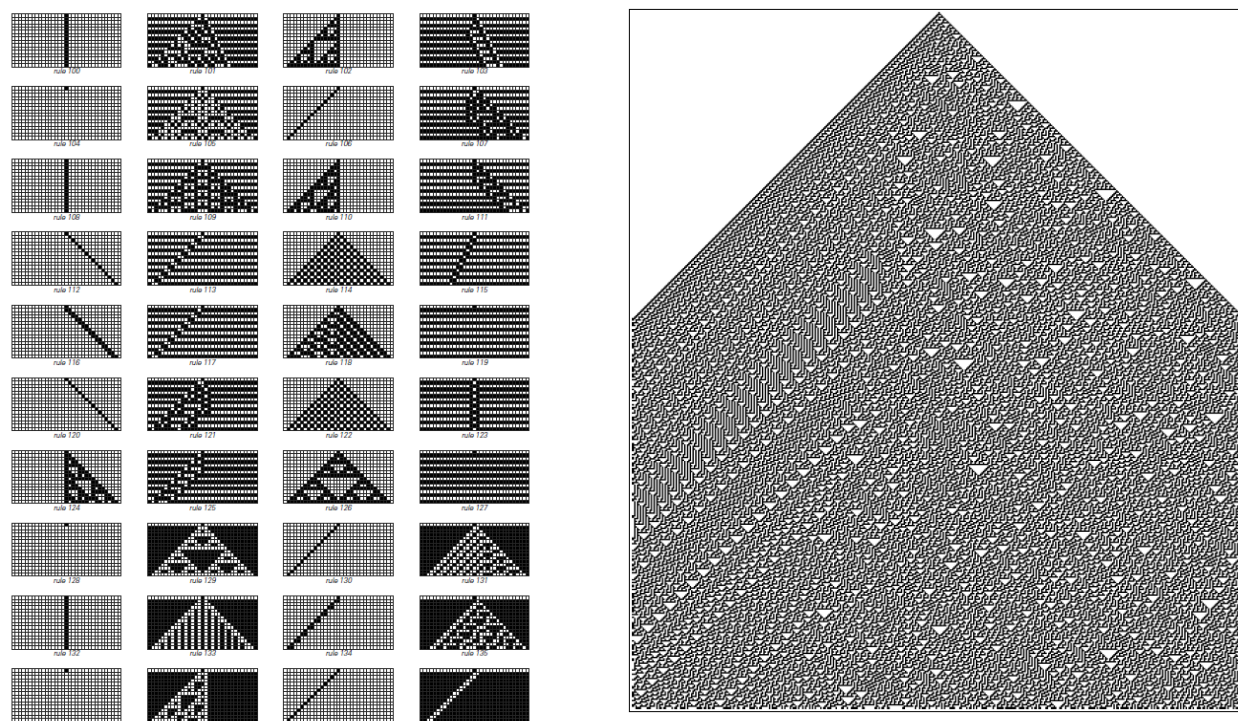
^{۳۰۰} اگر بخواهیم دقیق تر بگوییم، دقیقاً ۲۵۶ (دو به توان هشت) حالت وجود دارد.



بد نیست به عنوان تمرین، سطر اول را نگاه کنید و با توجه به قوانین همسایگی، خودتان شکل سطر دوم و سوم و را کنترل کنید. البته ولفرام این کار را بسیار بیشتر و دقیق‌تر انجام می‌دهد:



کار ولفرام به همین جا تمام نمی‌شود. او شکل‌های بسیاری از این جهان تک‌بعدی را می‌آزماید. آنچه در اینجا می‌بینید تصویر دو صفحه از کتاب اوست^{۳۰۶}:



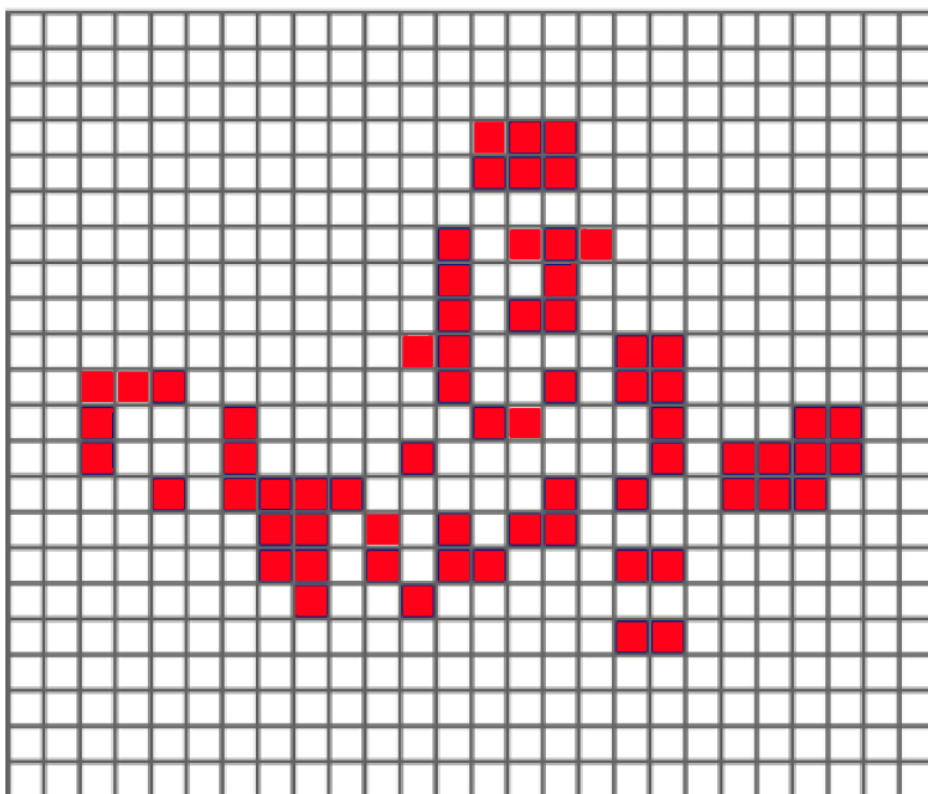
کار ولفرام بیشتر برای کسانی که می‌خواهند در مورد اعداد تصادفی، آشوب و نظریه اطلاعات کار کنند جذاب و مفید خواهد بود. من هم این اشاره‌ی کوچک و کوتاه را صرفاً به عنوان ادای احترامی به این دانشمند ارزشمند در اینجا مطرح کردم.

برای کسانی که به بحث ظهور و پدیدار شدن ویژگی‌ها و رفتارهای جدید در سیستم‌های پیچیده علاقه‌مند هستند، احتمالاً کار کانوی قابل درک‌تر است. خصوصاً اینکه نمایش بصری و شکل‌ظاهری آن هم برای بسیاری از ما جذاب‌تر است.

^{۳۰۶} من به عمد، از بخش‌های مختلف کتاب ولفرام این تصاویر را انتخاب کرده‌ام و نشان می‌دهم. کار او، نمونه‌ی ارزشمندی از صبر و حوصله و دقت است. چیزی که امروز کمتر جدی گرفته می‌شود. مطمئنم که بسیاری از ما، وقتی قاعده‌ی ساده‌ی نویمان را می‌بینیم، با خود می‌گوییم که: «خوب. این بحث که ساده و بدیهی است؛ به سراغ بقیه‌ی مطالب برویم». دقت کنیم که ولفرام، دانشمند کلاسیک چند قرن پیش نیست و هنوز هم – در لحظه‌ی نوشتن این مطلب – زنده است. این سبک از دقت، بررسی، مطالعه و کوشش، در میان ما بسیار کم و نایاب است. چند نفر از ما حاضریم بخش مهمی از عمر خود را (مثلاً بیست سال) برای چک کردن حالت‌های مختلف قابل تصور از یک قانون ساده‌ی همسایگی در یک شبکه‌ی یک خطی صرف کنیم؟ فکر می‌کنم بسیاری از دانشجویان امروز، اگر بخواهند در دو جلسه‌ی درسی دانشگاهی به بررسی «یک» موضوع (مثلاً مدل‌های رشد و موفقیت یک کسب و کار امروزی) بپردازند، احساس می‌کنند بحث بیش از حد طولانی شده و باید از آن عبور کرد.

کانوی به جای اینکه مانند ولفرام، یک فضای یک بعدی در نظر بگیرد و ۲۵۶ مجموعه‌ی قانون همسایگی قابل تصور را روی آن آزمایش کند، یک فضای دو بعدی و صرفاً یک مجموعه‌ی قانون را در نظر گرفت. در عوض، وقتش را صرف آزمایش شرایط اولیه‌ی متفاوت کرد.

کانوی از صفحه‌ی دوبعدی شروع می‌کند. مثلاً می‌توانید شبکه‌ی زیر (یا همان شبکه‌ی مثال انتخابات) را در نظر بگیرید:

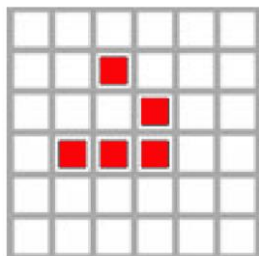


او یک وضعیت تصادفی اولیه تعریف می‌کند. سپس دو قانون همسایگی را روی آنها اعمال می‌کند^{۳۰۷}:

- اگر یک سلول، **زنده** باشد و در همسایگی آن دقیقاً دو یا سه سلول زنده وجود داشته باشند، آن سلول زنده می‌ماند. در غیر این صورت (یعنی صفر یا یک یا چهار یا پنج یا شش یا هفت یا هشت همسایه‌ی زنده) آن سلول می‌میرد.
- اگر یک سلول، **مرده** باشد و در همسایگی آن دقیقاً سه سلول زنده وجود داشته باشد، زنده می‌شود.

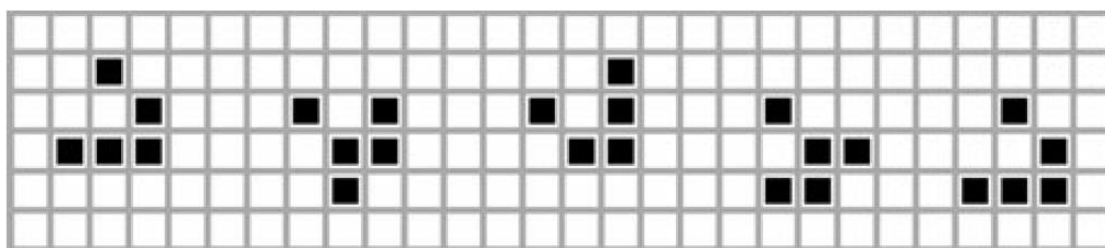
^{۳۰۷} کانوی همه جا به جای روشن و خاموش، یا فعال و غیرفعال یا سیاه و سفید، از تعبیر **زنده** و **مرده** استفاده می‌کند.

همین قوانین ساده باعث می‌شوند که دینامیک بسیار پیچیده‌ای در این جهان دوبعدیِ کانوی شکل بگیرد. پیشنهاد جدی من این است که روی کاغذ، این مدل ساده را به صورت دستی بررسی کنید:



اگر فرض کنیم این وضعیت امروز ماشین کوکی ماست، وضعیت فردای سلول زنده‌ی بالا را به سادگی می‌توان حساب کرد: این سلول در اطرافش تنها یک سلول زنده دارد و قرار شد سلول زنده‌ای که دو یا سه همسایه‌ی زنده ندارد، فردا بمیرد (محاسبه‌ی وضعیت سایر سلول‌ها با شما).

اگر این کار را در چند مرحله انجام دهید، می‌بینید که با یک الگوی متحرکِ تکرار شونده روبرو هستیم. یعنی بعد از چهار روز، دوباره همین شکل کمی آن‌طرف‌تر ساخته می‌شود:



جان کانوی، این مدل را گلايدر^{۳۰۸} نامید. چون در دنیای ساده‌ی دو بعدی او، مانند هواپیمای کوچک بدون موتوری است که پرواز می‌کند و متوقف نمی‌شود. طی سال‌های اخیر، انبوهی از الگوها یافته شده‌اند که در دنیای ساده‌ی جان کانوی می‌توانند رشد و زندگی کنند^{۳۰۹}.

چرا مدل جان کانوی برای ما جالب است؟

در مورد بازی زندگی بسیار گفته و نوشته‌اند. جالب اینجاست که این بازی صرفاً به قواعد جان کانوی هم محدود نمانده و بسیاری از دانشمندان و محققان دیگر، الگوهای متنوع و قوانین متفاوتی را در مورد آن آزموده‌اند.

^{۳۰۸} Glider

^{۳۰۹} نمونه فیلم‌های مربوط به این مدل‌سازی را روی روزنوشته به عنوان فایل‌های مکمل گذاشته‌ام.

در میان علاقه‌مندان به بازی زندگی، یک زبان قراردادی برای نمایش قواعد بازی زندگی وجود دارد. بر اساس این زبان، قوانین کانوی را به صورت B3/S23 نمایش می‌دهند. B نشان‌دهنده‌ی تولد^{۳۱۰} (تبدیل یک سلول مرده به زنده) است و S به عنوان بقا^{۳۱۱} (زنده ماندن یک سلول زنده) در نظر گرفته می‌شود.

B3 نشان می‌دهد که یک سلول مرده برای تبدیل به سلول زنده، باید دقیقاً سه همسایه‌ی زنده داشته باشد. S23 هم می‌گوید که یک سلول زنده برای زنده ماندن باید دقیقاً دو یا سه همسایه‌ی زنده داشته باشد. در غیر این صورت، سلول (مستقل از وضعیت فعلی‌اش) در گام بعدی خواهد مرد.

شاید برایتان جالب باشد که مثلاً یک نفر^{۳۱۲} به جای قاعده‌ی پیشنهادی کانوی، مدل B36/S23 را مطالعه کرده است. یا اینکه فرد دیگری^{۳۱۳} الگوی B368/S245 را بررسی کرده است.

بازی زندگی با قواعد متنوع دیگری هم مورد بررسی قرار گرفته که برخی از مهم‌ترین آنها را در این جدول می‌آورم:

B368/S12578	B37/S23	B3678/S34678	B4678/S35678	B25/S4	B1357/S1357
B36/S245	B35678/S5678	B35/S236	B27/S0	B2/S7	B4/S01234

البته بررسی هر یک از این قوانین و ویژگی‌ها و کاربردها و جذابیت‌های آنها، خارج از بحث ماست و اگر کسی علاقه‌مند باشد می‌تواند جزئیات بسیار دقیق و عالی در زمینه بازی زندگی را در مجموعه‌ای که به همت آداماتزکی^{۳۱۴} گردآوری شده بخواند.

فراموش نکنیم که ما قرار گذاشته‌ایم از کنار کارِ فون نویمان و کانوی در این زمینه به سرعت و در حد یک مثال بگذریم. آنچه می‌تواند برای ما جذاب و آموزنده باشد، رفتار برخی از موجودات در بازی کانوی است. این رفتار صرفاً به مدل‌های ساده‌ای مانند گلایدرها محدود نیست.

^{۳۱۰} Birth

^{۳۱۱} Survival

^{۳۱۲} Nathan Thompson

^{۳۱۳} Stephen Morley

^{۳۱۴} Adamatzky, A. (2010). Game of life cellular automata. London: Springer.

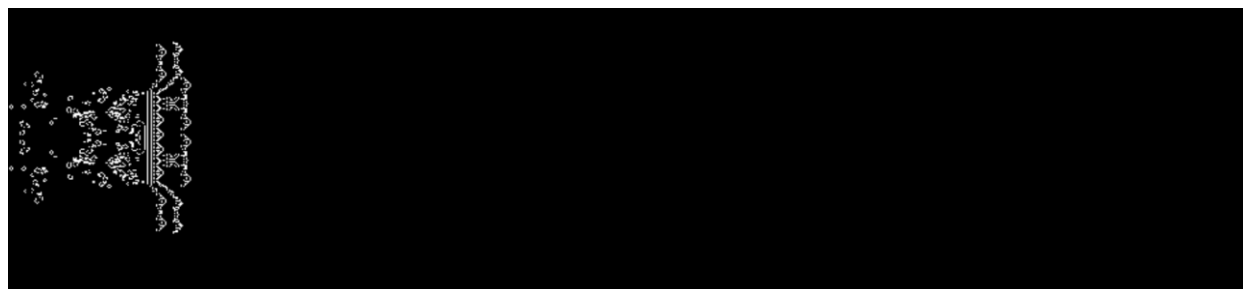
ما گاهی ترکیب‌های بسیار پیچیده‌تری را در مدل کانوی (و بسیاری مدل‌های مشابه) می‌بینیم که رفتار آنها از لحاظ سطح پیچیدگی و نظم که - در نگاه ما - دارند، شگفت‌انگیز است.

به عنوان یک مثال خوب، می‌توانید Puffer Train را در وب جستجو کنید و نمونه تصاویر متحرک آن را ببینید. این نوع الگو، در فضای دوبعدی کانوی حرکت می‌کند و پشت خود ردپایی هم باقی می‌گذارد.

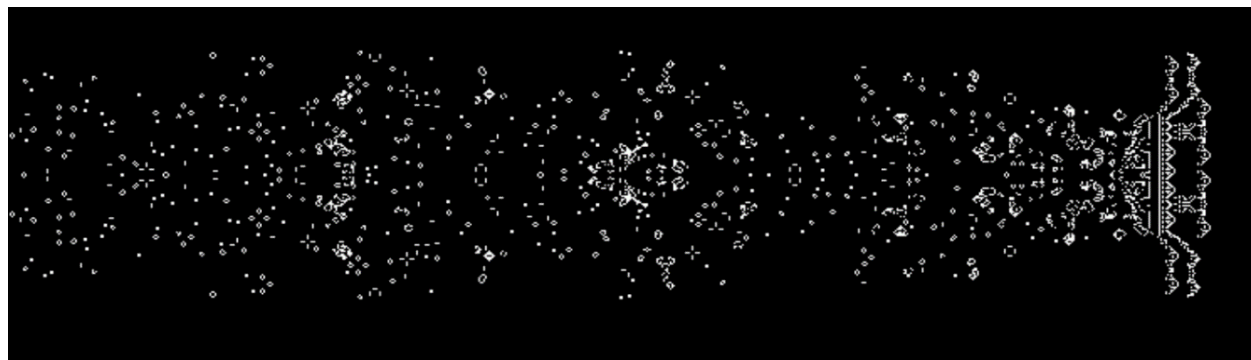
فراموش نکنید که ما چون خودمان این بازی را طراحی کرده‌ایم، می‌دانیم که پشت این حرکت زیبا و پیچیده، چند قاعده‌ی ساده وجود دارد. اگر ده‌ها قانون بزرگ و کوچک بر جهان بزرگ و پیچیده‌ی ما حاکم هستند، بر جهان کانوی تنها یک قانون B3/S23 حکومت می‌کند.

اما حرف اصلی این است که فرض کنید قوانین بسیار ساده و مکانیکی جهان کانوی را نمی‌دانید.

مثلاً میکروسکوپی در اختیار دارید و چنین موجودی را می‌بینید:



این موجود حرکت می‌کند و پشت خود هم ردی باقی می‌گذارد و به پیش می‌رود. آیا ما احساس نمی‌کنیم که با موجودی یکپارچه روبرو هستیم؟



ما در دنیای کانوی میلیون‌ها سلول مستقل داریم که هر کدام بر اساس یک قاعده‌ی ساده، **کوک** شده‌اند و رفتار می‌کنند. اما در نگاه ناظر بیرونی، موجود یک‌پارچه‌ی بزرگ‌تری مشاهده می‌شود که می‌توان رفتارهایی را هم به آن نسبت داد (همین تعبیر رد پا یک نمونه‌ی خوب است).

بازی زندگی کانوی، برای ما - که کارمان ریاضی و الگوریتم‌های محاسباتی نیست - از این جهت جذاب است که یک نمونه‌ی خوب از **نظم خودجوش** یا **نظم از پایین به بالا** را پیش چشمانمان قرار می‌دهد. اگر به دیدن این نوع **الگوهای خودجوش** عادت کنیم، در آینده می‌توانیم بسیاری از رفتارها و نظم‌ها و کمپین‌ها و سایر جریان‌های شبکه‌های اجتماعی را هم درک کنیم. چرا که آنها هم، حاصل تعامل تعداد زیادی انسان هستند که هر یک از انسان‌ها به صورت فردی در مورد رفتارها و پاسخ‌ها و تعامل خود با محیط، تصمیم می‌گیرد و اقدام می‌کند.

کیکی که اینجا بود کجا رفت؟

نمی‌دانم کدامیک از جلوه‌های طبیعت، شما را بیشتر به هیجان می‌آورد و شگفتی را در وجودتان برمی‌انگیزد. اما برای من یکی از جذاب‌ترین جنبه‌های طبیعت، **لوکوموشن^{۳۱۵}** یا جابجایی مکانی^{۳۱۶} است.

مکانیزم‌های بسیار متنوعی برای لوکوموشن در میان موجودات وجود دارد. برخی از آنها مثل ما انسان‌ها روی دو پای خود حرکت می‌کنیم. برخی دیگر روی چهارپا حرکت می‌کنند. جالب اینجاست که بسیاری از حیوانات از جمله سگ‌ها و گربه‌ها، هنگامی که سرعت حرکت خود را تغییر می‌دهند، الگوی استفاده از دست و پای خود را هم عوض می‌کنند.



مکانیزم لوکوموشن آمیب‌ها هم بسیار زیبا و خلاقانه است. آنها دست و پا ندارند. بنابراین، سیتوپلاسم خود را جابجا می‌کنند و غشاء سلولی خود را تغییر می‌دهند و پاهای موقت می‌سازند و بعد از حرکت کوچکی دوباره آن پا ناپدید می‌شود و در نقطه‌ی دیگری از بدن خود پا می‌سازند. به این پاها، شبه پا^{۳۱۷} گفته می‌شود.

^{۳۱۵} Locomotion

^{۳۱۶} اصطلاح Locomotion اصطلاح زیبایی است که از ترکیب دو مفهوم مکان (Location) و حرکت (Motion) ایجاد شده است. بسیاری از حرکت‌های ما از جنس جابجایی در مکان فعلی است. مثلاً وقتی می‌نشینیم و کف می‌زنیم یا وقتی یک گیاه رشد می‌کند یا شاخه‌ها و برگ‌های خود را به سمت نور حرکت می‌دهد. اما بخشی از حرکت‌ها با هدف جابجایی کامل موقعیت فیزیکی انجام می‌شوند. به این نوع حرکت‌ها لوکوموشن گفته می‌شود.

^{۳۱۷} Pseudopodium

حرکت آمیبی، مختص آمیب‌ها نیست و به هر نوع مکانیزم حرکتی مشابه آمیب‌ها، لوکوموشن آمیبی گفته می‌شود. دانشگاه‌های متعددی در دنیا و نیز برخی مراکز تحقیقات فضایی، در زمینه ساخت ربات‌هایی که لوکوموشن آمیبی دارند، دستاوردهای ارزشمندی داشته‌اند.

البته همه‌ی مکانیزم‌های لوکوموشن از جنس فعال نیستند و گونه‌های بسیاری، از سیستم منفعل^{۳۱۸} استفاده می‌کنند. مثلاً برخی گونه‌های عروس دریایی، فقط شکل خود را تنظیم می‌کنند و منتظر می‌مانند تا موجی بیاید و آنها را جابجا کند. البته اگر بخواهید هیجان لوکوموشن منفعل را تجربه کنید، بهتر است به سراغ گونه‌های عنکبوت بروید.

می‌توان گفت عنکبوت‌ها سیستم هیبرید دارند. در حال عادی راه می‌روند و لوکوموشن کاملاً فعال دارند. اما در شرایط دیگر، ترجیح می‌دهند از لوکوموشن منفعل استفاده کنند.

تعدادی از عنکبوت‌ها برای طی کردن مسیرهای طولانی، تار می‌بافند و آن را در هوا رها می‌کنند تا باد، تار را بلند کند و خودشان آویزان به تار، هر جا که باد آنها را برد می‌روند و سرزمین تازه‌ای را کشف می‌کنند^{۳۱۹}. این نوع سفرها می‌توانند از چند متر یا چندصد کیلومتر و از چند ثانیه تا چند روز به طول بیانجامند^{۳۲۰}.

این مقدمه را در مورد لوکوموشن گفتم تا به **ظهور لوکوموشن**^{۳۲۱} اشاره کنم. اگر به شما بگویند آیا سلول بدن انسان، لوکوموشن دارد یا نه؛ احتمالاً خواهید گفت که این سلول‌ها در موقعیت خود ثابت هستند و جابجا نمی‌شوند.

اما آیا نمی‌توانیم از منظر دیگری به آنها نگاه کنیم؟ اینکه این سلول‌ها به یکدیگر چسبیده‌اند و وقتی می‌خواهند جابجا شوند، ما انسان‌ها حرکت می‌کنیم؟

آیا لوکوموشن را می‌توان از جنس رفتارهای پدیدار شده یا **Emerged** در نظر گرفت؟ به عبارت دیگر آیا باید حرکت را در همه‌ی موجودات چیزی از جنس جرم بدانیم؟ یا می‌توان آن را در کنار پدیده‌هایی مثل دما و فشار قرار داد؟

^{۳۱۸} Passive Locomotion

^{۳۱۹} اگر علاقه‌مند هستید در این زمینه بیشتر ببینید و بدانید کافی است در فضای وب، کلمه‌های **Ballooning** یا **Kiting** را جستجو کنید. واژه‌ی اول از همان اصطلاح **بالون** خودمان گرفته شده و واژه‌ی دوم نیز از خانواده‌ی کایت است که ما در فارسی هم آن را به کار می‌بریم.

^{۳۲۰} روی وبلاگم به عنوان محتوای جانبی کتاب، یک کلیپ زیبا و جالب از کایتینگ عنکبوت‌ها گذاشته‌ام.

^{۳۲۱} Emerged Locomotion

برای اینکه کمی به این فضا نزدیک‌تر شویم، باید به سراغ نوعی کپک برویم که به کپک مخاطی^{۳۲۲} مشهور است. اگر یک بار سرما خورده باشید و گرفتار آبریزش بینی شده باشید، احتمالاً اصطلاح ترشحات مخاطی را شنیده‌اید و می‌دانید. کپک مخاطی به خاطر شکل لزج و نرم و ویسکوز بودن با این صفت نامیده می‌شود.

چند نمونه از عکس‌های کپک مخاطی را در صفحه‌ی بعد می‌توانید مشاهده کنید و در ادامه به بررسی آنها می‌پردازیم.

^{۳۲۲} در متن‌های عمومی و غیرتخصصی، اصطلاح Slime mold را می‌بینید. اما اگر بخواهید مقالات رسمی و علمی دقیق‌تر و معتبرتر را بخوانید، پیشنهاد می‌کنم نام علمی این گونه‌ها یعنی دیکتیوس تلید (Dictyostelid) را بررسی کنید.

تصاویری از کپک مخاطی (در حالت تک سلولی و زندگی جمعی)



کپک های مخاطی در رنگ ها و شکل های مختلف در همه جا یافت می شوند. البته قاعداً اگر در جنگل یا مزرعه ای با فضای مرطوب باشید، احتمال دیدن آنها بسیار بیشتر است.

احتمالاً تا این لحظه هم نمونه های بسیاری از آنها را دیده اید. اما چون چشم تان به دنبال چنین موجوداتی نبوده است، از کنارشان عبور کرده اید^{۳۳}.

اگر روزهای متوالی به یک جنگل سر بزیند و محل چند کپک مخاطی را به خاطر بسپارید، متوجه خواهید شد که آنها حرکت می کنند و حتی ممکن است کاملاً ناپدید شوند و به محل دیگری بروند.

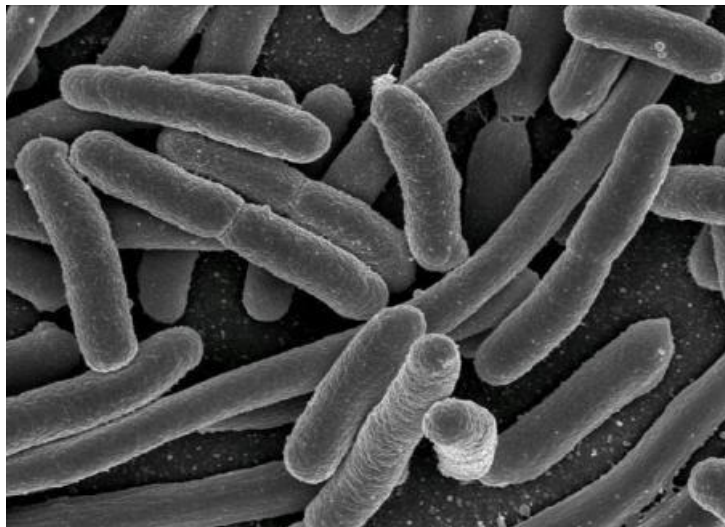
کپک های مخاطی چیزی در حدود پانصد تا ششصد میلیون سال بر روی زمین قدمت دارند و به وجود آمدن و انقراض گونه های بسیاری از گیاهان و جانوران را شاهد بوده اند^{۳۴}.

چرا کپک های مخاطی برای ما - که پیچیدگی را می آموزیم - جذاب هستند؟

من با دو انگیزه بحث کپک های مخاطی را در این کتاب مطرح می کنم. نخستین انگیزه این است که مکانیزم لوکوموشن در این کپک ها کاملاً از جنس پدیدار شونده یا Emerged است. دوم اینکه آنها را می توان یک سوارم با قواعدی مشابه بازی زندگی (البته قطعاً پیچیده تر از آن) دانست.

^{۳۳} کپک مخاطی، اگر چه کپک (Mold) نامیده می شود اما به کپک هایی که ما معمولاً می بینیم و می شناسیم (مثلاً کپک نان) ربطی ندارد. بسیاری از کپک ها که می شناسیم در شاخه ی قارچ ها (اگر دقیق تر بگوییم: قلمرو Fungi ها) قرار می گیرند. اما کپک مخاطی در این دسته قرار ندارد. البته به خاطر شباهت ظاهری و امکان تولید هاگ تا مدت ها در قلمرو قارچ ها طبقه بندی می شد. اکنون می دانیم که آنها نه در گروه جانوران قرار می گیرند و نه گیاهان و نه قارچ ها. عملاً قلمرویی که برای این ها باقی می ماند، آغازیان است. نخستین موجوداتی که بر روی کره زمین به وجود آمدند و از آغاز شکل گیری حیات در کره ی زمین حضور داشتند. در کل اختلاف نظر در طبقه بندی کپک مخاطی یا Slime Mold (که خود شامل چندصد گونه ی مختلف است) زیاد است و برای ما که تخصص گونه شناسی نداریم و در اینجا هم دغدغه ی دیگری داریم، شاید صرفاً به خاطر داشتن اینکه کپک مخاطی موجودی تک سلولی شبیه آمیب هاست کافی باشد (اگر خیلی حساس بودید و خواستید دقت علمی را رعایت کنید، می توانید بگویید همه ی کپک های مخاطی، در قلمرو یوکاریوت ها قرار می گیرند. چون هسته کامل در آنها شکل گرفته و ماده ی ژنتیکی آنها با غشا از سیتوپلاسم جدا شده و ساختار کامل سلولی با تعادل فیزیولوژیک دارند و عملاً یک ارگانیسم کامل محسوب می شوند).

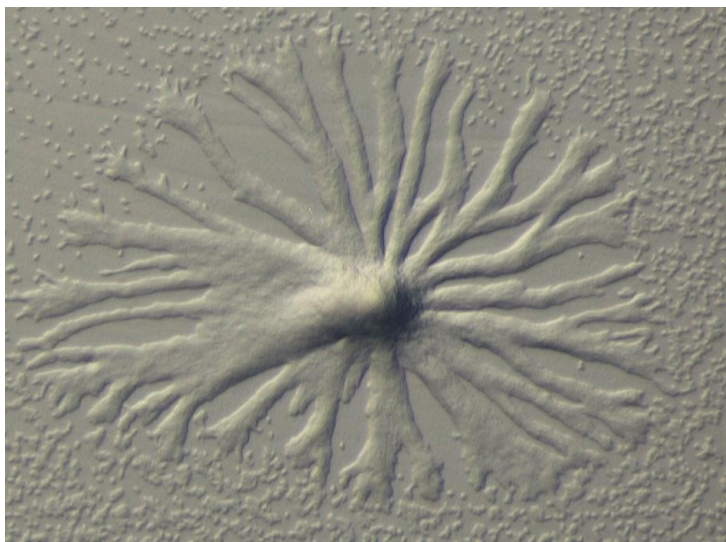
^{۳۴} البته شاید تعبیر «شاهد بودن» برای موجودی تک سلولی که چشم و گوش و مغز ندارد، چندان درست و دقیق به نظر نرسد. اما در ادامه که بیشتر آنها را بشناسیم، احتمالاً راحت تر چنین توصیفی را در موردشان می پذیریم.



گونه‌های بسیاری از کپک‌های مخاطی، زندگی تک سلولی دارند^{۳۲۵}. اما زندگی تک سلولی و انفرادی به این معنا نیست که زندگی اجتماعی را نمی‌فهمند و ابزارهای تعامل اجتماعی را به کار نمی‌گیرند^{۳۲۶}.

کپک‌های مخاطی، تا زمانی که غذای کافی در اطراف خود دارند زندگی را به تنهایی ادامه می‌دهند. اما به محض اینکه احساس کنند تهدید محیطی وجود دارد به یکدیگر می‌چسبند و یک

توده‌ی بزرگتر درست می‌کنند. تهدید محیطی برای کپک مخاطی، می‌تواند کمبود غذا یا افزایش نور باشد؛ چون کپک‌های مخاطی نور را دوست ندارند و تاریکی را ترجیح می‌دهند.



تصویر مقابل وضعیتی را نشان می‌دهد که کپک‌های مخاطی در حال نزدیک شدن و چسبیدن به یکدیگر هستند تا یک توده‌ی مخاطی را ایجاد کنند^{۳۲۷}.

حالا کپک مخاطی که از چندین هزار (و گاه چندین میلیون سلول تشکیل شده) راه می‌افتد و حرکت می‌کند و اطراف را جستجو می‌کند تا نقطه‌ی مناسب‌تری را برای زندگی بیابد.

^{۳۲۵} گونه‌های دیگری هم در قالب پلاسمودیوم زندگی می‌کنند: یک بستر سیتوپلاسمی مشترک که تعداد زیادی هسته‌ی سلولی در آن شناور است.
^{۳۲۶} اگر قصد داشتید جستجوی اینترنتی انجام دهید، بد نیست بدانید که بسیاری از آزمایش‌های انجام شده و مقالات منتشر شده روی گونه‌ی *Dictyostelium discoideum* انجام شده‌اند. اگر چه *Slime Mold* به تنهایی هم می‌تواند شما را به سمت برخی مقاله‌ها و تحقیقات جذاب در این زمینه هدایت کند.
^{۳۲۷} این توده را در زبان انگلیسی *Slime* می‌نامند و چون یکی از واژه‌هایی که برای لجن هم به کار می‌رود *Slime* است، در برخی متن‌های فارسی به جای کپک مخاطی از اصطلاح کپک لجن استفاده می‌شود. اما از آنجا که لجن تعریف دیگری دارد و خارج از این مقوله است، فکر می‌کنم استفاده از اصطلاح کپک مخاطی مناسب‌تر باشد.

احتمالاً تا اینجای بحث خسته شده‌اید و فکر می‌کنید که چرا باید این همه در مورد کپک بخوانیم و بشنویم. ماجرا برای

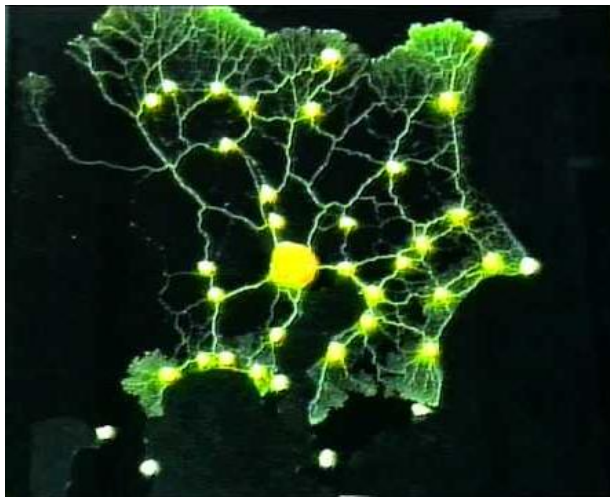


ما از سال ۲۰۰۰ مهم و جدی می‌شود. زمانی که محققى به نام ناکاگاکى و همکارانش طى مقاله‌ای که در Nature منتشر شد اعلام کردند که توانسته‌اند توده‌ای از کپک مخاطی برای پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر در یک لایرننت^{۳۲۸} استفاده کنند.

آنها کپک مخاطی را در نقطه‌ای از لایرننت گذاشته بودند و

در نقطه‌ی دیگری از لایرننت غذا قرار داده بودند^{۳۲۹}. کپک توانسته بود کوتاه‌ترین مسیر برای رسیدن به غذا و تغذیه از آن را پیدا کند.

بعد از این آزمایش، انبوهی از آزمایش‌های متفاوت و متنوع با کپک‌های مخاطی انجام شد^{۳۳۰}. یکی از کارهای جالب توسط



آتسوشی ترو^{۳۳۱} انجام شده است. او سی و شش شهر اطراف توکیو را روی یک نقشه علامت‌گذاری کرد و روی هر شهر متناسب با جمعیت آن، برای کپک‌ها غذا قرار داد.

سپس کپک مخاطی را در محل توکیو قرار داد و منتظر ماند تا کپک مسیر خود را به شهرهای مختلف پیدا کند. این مسیر شباهت بسیار زیادی به مسیر قطارهای بین شهری حومه توکیو داشت که با مطالعات گسترده با هدف بهینه‌سازی مسیر، طراحی شده بودند.

جالب اینجاست که کپک‌ها مسیرهای فرعی هم درست می‌کردند که پهنای کمتری داشتند و معادل مسیرهای فرعی ریلی بودند که برای شرایط خاص و وجود سانحه در خط اصلی در نظر گرفته می‌شوند.

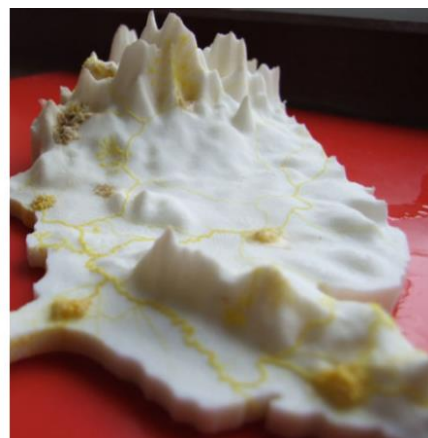
آداماتزکی و همکارش مدل سه‌بعدی آمریکا را درست کردند و سعی کردند شکل کلونی شدن انسان‌ها و پخش شدن آنها در نقاط مختلف آمریکا و جاده‌سازی‌ها را شبیه‌سازی کنند.

^{۳۲۸} ماز یا Maze یا هزارتو یا Labyrinth

^{۳۲۹} یکی از غذاهای مورد علاقه‌ی کپک مخاطی، جو دوسر یا یولاف است.

^{۳۳۰} Adamatzky, A. (2016). Advances in Physarum machines: Sensing and computing with slime mould. Cham ; Heidelberg ; New York ; Dordrecht ; London: Springer.

^{۳۳۱} Atsushi Tero



آنچه در تصویر بالا می‌بینید، نقشه سه بعدی آمریکا است و کپک‌ها را می‌بینید که در حال انتخاب و طراحی مسیرهای اصلی و فرعی مناسب هستند.

در کار دیگری که آن هم توسط آداماتسکی انجام شده، می‌توانید محل ایستگاه‌های اکتشافی مختلف بر روی ماه را ببینید و کپک‌ها را که مسیر ارتباطی مناسب بین آنها را انتخاب کرده‌اند.

