چگونه زنده‌ایم

راهنمای کاربردی برای زیست‌شناسی نوین

فیلیپ بال | ترجمهٔ رضا امیر

سرشناسه	:	بال، فیلیپ. Ball, Philip.
عنوان و نام پدیدآور	:	چگونه زنده‌ایم / فیلیپ بال. ترجمهٔ رضا امیر.
مشخصات نشر	:	تهران، نوین توسعه، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	:	۴۷۲ صفحه
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۵۲۱۳-۹۷-۵
فهرست‌نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی: How Life Works, 2023
موضوع	:	زیست‌شناسی و حیات
رده‌بندی کنگره	:	QH ۵۰۱
رده‌بندی دیویی	:	۵۷۱/۸
شمارهٔ کتاب‌شناسی ملی	:	۱۰۳۶۸۴۵۴

تمامی حقوق این اثر، از جمله حق انتشار تمام یا بخشی از آن، برای ناشر محفوظ است.

نشر نوین

مجوز رسمی ترجمه و نشر کتاب

نشر نوین نسخهٔ فارسی کتاب
How Life Works را با خرید حق انحصاری ترجمه و انتشار
در ایران از Philip Ball، با نام «**چگونه زنده‌ایم؛**
راهنمای کاربردی برای زیست‌شناسی نوین» منتشر می‌کند.
این ترجمه در خارج از مرزهای ایران توسط نشر هوشیوار منتشر می‌شود.

طبق این قرارداد انحصاری، تمامی حقوق این اثر از جمله انتشار کاغذی،
الکترونیکی و صوتی برای نشر نوین محفوظ بوده و ترجمه و
انتشار مجدد آن توسط سایر مترجمان و ناشران ایرانی،
خلاف قوانین کپی‌رایت بین‌المللی و اخلاق حرفه‌ای است.

عنوان	:	چگونه زنده‌ایم
مؤلف	:	فیلیپ بال
مترجم	:	رضا امیر
ویراستار علمی	:	مهدی شفا
ویراستار	:	فاطمه یزدانی
صفحه‌آرا	:	صبا کریمی
طراح جلد	:	فریناز کیان
زمان و نوبت چاپ	:	۱۴۰۴، اول، ۱۰۰ نسخه
ناشر	:	نشر نوین توسعه
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۵۲۱۳-۹۷-۵
قیمت	:	۸۹۰٬۰۰۰ تومان

تعهد ما به پایداری محیط‌زیست

کاغذ بالکی، کاغذی سبک، خوش‌رنگ و زیست‌محیطی است که در کشورهای باران‌خیزی همچون سوئد و فنلاند تولید می‌شود و مخصوص چاپ کتاب است.

ما نیز کتاب‌های نشر نوین را روی این کاغذها چاپ می‌کنیم تا علاوه بر ساختن تجربهٔ خوب مطالعه برای خوانندگانمان، با هم گامی در جهت حفظ محیط‌زیست برداریم.

nashrenovin.ir
nashrenovin.ir
nashrenovin

فهرست

پیش‌گفتار ۹

فصل ۱. پایان دوران ماشین ۲۵

فصل ۲. ژن‌ها ۵۱

فصل ۳. RNA و رونویسی ۱۱۵

فصل ۴. پروتئین‌ها ۱۴۹

فصل ۵. شبکه‌ها ۱۹۵

فصل ۶. سلول‌ها ۲۳۹

فصل ۷. بافت‌ها ۲۷۷

فصل ۸. بدن‌ها ۳۰۹

فصل ۹. عاملیت ۳۴۳

فصل ۱۰. رفع اشکال ۳۸۵

فصل ۱۱. ساختن و هک‌کردن ۴۲۱

پس‌گفتار ۴۵۳

کتاب‌شناسی ۴۷۰

مقدمهٔ مترجم

تا آنجا که می‌دانم، پیش از این کتاب، دست‌کم سه کتاب دیگر منتشر شده که عنوان اصلی هر سه بنیادی‌ترین پرسش زیست‌شناسی است: «حیات چیست؟» این کتاب هم می‌توانست چهارمینِ آن‌ها باشد؛ اما نویسنده، فیلیپ بال، در نوشتن آن ایدهٔ دیگری را دنبال می‌کند: شاید بهتر باشد برای درک مفهوم حیات، از موارد بحث‌برانگیزی مانند این که آیا ویروس‌ها زنده‌اند یا نه عبور کنیم و بر سازوکارهای حیات متمرکز شویم، یعنی بر فرایندهایی که در سطح مولکول‌های زیستی، سلول‌ها، بافت‌ها و کل جاندار، جریان حیات را امکان‌پذیر کرده‌اند. از سوی دیگر، به نظر می‌رسد انبوهی از یافته‌های علمی جدید که در چند دههٔ گذشته، به‌ویژه در زمینهٔ ژنتیک مولکولی و تکوین کشف شده‌اند، هنوز در دیدگاه و رویکرد عمومی به فرایندهای حیاتی، جایگاهی متناسب با اهمیت زیستی خود نیافته‌اند و این کتاب کوششی است برای ترسیم تصویری جامع‌تر و دقیق‌تر از حیات، با درنظرگرفتن بخش بزرگ‌تری از دانش زیستی امروز بشر؛ تلاشی برای آن‌که ما در جایگاه یگانه گونهٔ زندهٔ دارای این توانایی، تصویری فقط کمی روشن‌تر از این داشته باشیم که خودمان و سایر موجودات زنده «چگونه زنده‌ایم».

مطالعهٔ این کتاب برای من که از کودکی به زیست‌شناسی علاقه‌مند بوده‌ام و سال‌ها زیست‌شناسی را در تقلیل‌گرایانه‌ترین شکل آن آموزش داده‌ام، هم‌زمان بسیار لذت‌بخش و آموزنده بوده. بیش از هر چیز این کتاب را مجموعهٔ بسیار کاملی از پژوهش‌های زیستی برجسته و یافته‌های بسیار مهم در فهم چگونگی کارکرد حیات می‌دانم؛ تا جایی که سه تا از جوایز نوبل اهداشده در فاصلهٔ انتشار کتاب تا امروز، به پژوهش‌هایی اختصاص یافته‌اند که فیلیپ بال در کتاب به آن‌ها می‌پردازد. امیدوارم مطالعهٔ این کتاب برای خوانندگان علاقه‌مند به زیست‌شناسی مفید و جذاب باشد؛ البته شاید نه به‌اندازهٔ من!

از دوست و همکار عزیزم دکتر مهدی شفا تشکر می‌کنم که نقش بسیار مهمی در انتشار ترجمهٔ فارسی این کتاب داشته‌اند: پیشنهاد کتاب برای ترجمه، مذاکره با نویسنده و ناشر آمریکایی برای دریافت حق انتشار فارسی کتاب و ویراستاری علمی ترجمهٔ من. از دکتر محسن حاجی‌صادقیان و عباس سیدین عزیز تشکر می‌کنم که هنگام ترجمهٔ کتاب بارها در موارد متعدد با ایشان مشورت کردم. از دوست عزیزم خانم سحر مقدم تشکر می‌کنم که نسخهٔ کاغذی کتاب انگلیسی را تهیه کردند و در بخش‌هایی از ترجمه به من کمک کردند. از مصطفی طرسکی عزیز مدیر نشر نوین بابت پذیرفتن انتشار این کتاب، که از نظر موضوعی در راستای سایر کتاب‌های نشر نوین نیست، تشکر می‌کنم؛ همچنین از محسن ربیعی عزیز که در این فرایند نقش مهمی داشتند و خانم فاطمه یزدانی که در ویراستاری متن ترجمهٔ من با کار دشواری روبه‌رو بودند و به چندین نکتهٔ بسیار مهمِ دورمانده از چشم من توجه کردند. دوستان دیگری هم در انتشار این کتاب نقش داشته‌اند که درحال‌حاضر به یاد ندارم یا آن‌ها را نمی‌شناسم، از ایشان هم سپاس‌گزارم. این ترجمه را به کیاوَش و مهرانگیز، پدر و مادر عزیزم، تقدیم می‌کنم که زنده بودن را با ژن‌های اهدایی آن‌ها آغاز کرده‌ام؛ جزئیات بیشتر در مورد چگونگی‌اش را هم می‌توانید در فصل‌های همین کتاب بخوانید! کم‌وکاستی و نادرستی در ترجمه که حتماً هست ولی امیدوارم زیاد و بزرگ نباشند را بر من ببخشید. در پایان، آرزومندم مطالعهٔ این کتاب برای شما مفید و خوشایند باشد. عزت زیاد.

رضاامیر

پیش‌گفتار

در ۲۶ ژوئن ۲۰۰۰، بیل کلینتون، رئیس‌جمهور وقت آمریکا، اعلام کرد دانشمندان اولین نسخهٔ پیش‌نویس ژنوم انسانی را تکمیل کرده‌اند. یعنی توانسته‌اند توالی تقریبی سه میلیارد واحد شیمیایی سازندهٔ DNA ما را تعیین کنند. او گفت: «ما امروز زبانی را می‌آموزیم که خداوند با آن حیات را آفریده است.»

گفته‌اش نادرست بود؛ اما نه به آن دلیل که معمولاً به ذهن می‌رسد.

البته مردم به شنیدن حرف‌های نادرست از سیاست‌مداران عادت دارند؛ و این فقط دربارهٔ علم نیست. بااین‌حال، دو دانشمند حاضر در آن مراسم نیز برای اصلاح سخنان کلینتون کاری نکردند. برعکس، یکی از آن‌ها، فرانسیس کالینز[1]، که آن زمان رئیس مؤسسهٔ ملی سلامت آمریکا بود و بعدها مشاور علمی جو بایدن شد، با گفته‌های تحسین‌آمیزش همان نگرش را تکرار کرد. او با تعبیر این توانایی نوظهور به خواندن «کتاب راهنمای خودمان که پیش از این فقط خدا از آن آگاه بود»، آن را ستود.

بسیاری از دانشمندان ممکن است از این اشاره‌های مذهبی آزرده‌خاطر شده باشند، اما مشکل اصلی این نبود. استعاره‌های «زبان حیات» و «کتاب‌راهنما» امروز نیز معمولاً برای اشاره به ژنوم انسان به کار می‌روند؛ ژنومی که تقریباً سراسر آن در پروژهٔ بین‌المللی ژنوم انسان[2]

1. Francis Collins
2. international Human Genome Project (HGP)

همگام با تلاش‌های مستقل و سرمایه‌گذاری شخصی کریگ ونتر[1]، کارآفرین زیست‌فناوری، تحلیل و بررسی شد.[2] کریگ ونتر نیز در مراسم رونمایی حضور داشت.

بیش از دو دهه بعد، داده‌های حاصل از پروژهٔ ژنوم انسان و توالی‌یابی ده‌ها هزار ژنوم انسانی منفرد، به منبعی حیاتی برای پژوهش‌های زیستی و پزشکی تبدیل شده است. این موضوع همیشه امیدبخش و جزء مهمی از مأموریت پروژه بوده است. اما این داده‌ها ما را در فهم ماهیت زندگی یاری نکرده‌اند و در واقع نشان داده‌اند دستیابی به چنین فهمی دور از دسترس‌تر از آن است که تصور می‌کردیم. زیرا اگر چیزی شبیه به «زبان حیات» وجود داشته باشد، در ژنوم پیدا نمی‌شود؛ که شباهتی به هیچ‌یک از کتاب‌های راهنمای بشری ندارد.

بااین‌حال، استعاره‌های گمراه‌کننده دربارهٔ ژنوم همچنان پابرجا و محبوب‌اند. یکی از رایج‌ترین آن‌ها «نقشهٔ ساخت»[3] است؛ به این معنا که طرحی کلی از بدن انسان در این رشتهٔ سه میلیارد کاراکتریِ تشکیل‌شده از «رمزها» نهفته و فقط لازم است شیوهٔ رمزگشایی آن را بدانیم. در واقع کل مفهوم «رمز» این تصور را ایجاد می‌کند که ژنوم شبیه برنامه‌ای کامپیوتری است؛ نوعی الگوریتم پیچیده که در موجود زنده اجرا می‌شود. استعارهٔ «کتاب حیات» حتی شکل فیزیکی هم پیدا کرده است: مجموعه‌ای از ۱۰۹ کتاب مجزا که در ۲۳ جلد گردآوری شده (برای هر کروموزوم انسانی یک جلد) و هر صفحه از کتاب‌ها با انبوهی از توالی چهار حرف (C، T، A و G) که نمایندهٔ واحدهای سازندهٔ DNA هستند پر شده است. ترجیح می‌دهم قضاوت را به خواننده بسپارم که کدام کتاب، آن یا این که می‌خوانید، تصویری روشن‌تر از نحوهٔ عملکرد زندگی در اختیارتان می‌گذارد. هدف این کتاب آن است که نشان دهد چرا این استعاره‌ها ناکافی‌اند، چرا باید جایگزین شوند و چرا تا زمانی‌که جایگزین مناسبی برای آن‌ها نیافته‌ایم، درک ما از چگونگی عملکرد حیات ناقص خواهد بود. این کتاب همچنین تلاشی است برای ترسیم آنچه می‌تواند به‌جای این استعاره‌ها مطرح شود.

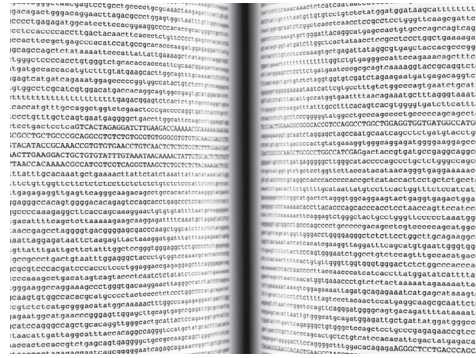
استعاره‌های جایگزین برای ژنوم کم نیست؛ مثلاً آن را به نت‌های یک قطعهٔ موسیقی یا متن نمایشنامه تشبیه کرده‌اند. برخی از این قیاس‌ها از بقیه بهترند، اما هیچ‌کدام بی‌نقص نیستند. بااین‌حال، نکتهٔ کلیدی آن است که تلاش برای درک نحوهٔ عملکرد زندگی ازطریق ژنوم، مانند تلاش برای فهم ادبیات با کمک واژه‌نامه است؛ البته خودِ این تشبیه هم بی‌نقص نیست.

---

1. Craig Venter

۲. نمی‌توان دقیق گفت توالی‌یابی ژنوم انسان چه زمانی تکمیل شده است. یک توالی «کامل» که جاهای خالی قبلی را پر می‌کرد در سال ۲۰۰۳ اعلام شد، اما تا سال ۲۰۲۲ که گزارشی منتشر شد، اکثر مردم نمی‌دانستند ۸درصد باقی‌مانده از آن، که به دلایل فنی تعیین توالی آن دشوار است، تا آن زمان ناشناخته مانده بود.

3. blueprint



شکل ۱-۰ «کتاب زندگی»؟ ژنوم انسان آن‌چنان‌که در ۱۰۹ کتابِ حاصل از پروژهٔ ژنوم انسان ثبت شده است. کتاب‌های تهیه‌شده توسط کر/نوبل. با سپاس از مجموعهٔ ولکام برای تصویر.

وقتی از زیست‌شناسان می‌پرسند چرا رمزگشایی ژنوم انسان و گونه‌های دیگر، شناخت کافی و واقعی برای فهم دقیق فرایندی که آن را حیات می‌نامیم به ما نداده است، معمولاً می‌گویند همه‌چیز پیچیده‌تر از آن بوده که پیش‌بینی می‌کردیم. همان‌طور که به ویرینگا[1]، زیست‌شناس هلندی، پس از سال‌ها مطالعهٔ تأثیر ژن‌ها بر زندگی و سلامت، هنگام بازنشستگی در سال ۲۰۱۸ گفت: «پس از پروژهٔ ژنوم انسان فکر می‌کردیم کارمان تمام شده است. واقعیت این است که این‌طور نیست. در واقع، مسیرهای جدیدی برای کشف و تحقیق باز شده است.»

ویرینگا با لحنی تأمل‌برانگیز افزود: «راستش را بگویم، واقعاً باور داشتم که رابطهٔ سلول‌ها و مولکول‌ها [مثل ژن‌ها و مولکول‌هایی که آن‌ها را رمزگذاری می‌کنند] کمی ساده‌تر است.» همهٔ ما چنین تصوری داشتیم؛ پروژهٔ ژنوم انسان تا حد زیادی براساس همین باور شکل گرفت. اما برخلاف انتظار، خود پروژه نشان داد که باید این رؤیاهای ساده‌انگارانه را کنار بگذاریم.

اما راه‌حل جایگزین لزوماً تسلیم‌شدن در برابر سردرگمی گیج‌کننده‌ای نیست که گویا ویرینگا به آن تن داده است. در عوض، یافته‌های پروژهٔ ژنوم انسان ما را ترغیب می‌کند که بگوییم: «البته که ساده نیست! چطور روزی تصور می‌کردیم خود حیات به این سادگی باشد؟ اما حالا به‌جای آن، چه ظرافت‌های شگفت‌انگیز، پیچیده و کارآمدی را کشف می‌کنیم!»

باوجوداین، رهاکردن این تصور آسان نیست. دیدگاه «کتاب راهنما» دربارهٔ ژنوم دقیقاً به این دلیل پابرجا مانده است که داستان واقعی اصلاً ساده نیست؛ اینکه DNA و دیگر

1. Bé Wieringa

مولکول‌ها چگونه سلول‌ها و موجودات زنده را تولید و حفظ می‌کنند. این استعاره تسلی‌بخش است، زیرا داستانی مرتب و منظم روایت می‌کند که باوجود نادرست‌بودنش به نظر خوشایندتر از آن است که بگوییم «در واقع، پیچیده‌تر از این‌هاست». وقتی این ایده را کنار بگذارید که «راز حیات» در ژنوم نهفته است و فقط باید بدانیم چگونه آن را رمزگشایی کنیم، زیست‌شناسی ممکن است کاملاً گیج‌کننده به نظر برسد. در این کتاب نشان می‌دهم تقریباً همهٔ داستان‌های مرتب و منظمی که محققان معمولاً دربارهٔ چگونگی کارکرد سلول‌های زنده می‌گویند، ناقص، معیوب یا کاملاً نادرست‌اند.

بااین‌حال باور دارم که می‌توانیم به درکی بهتر برسیم. نشان می‌دهم تحقیقات انجام‌شده در زیست‌شناسی مولکولی و سلولی در چند سال گذشته، تصویری غنی‌تر و بسیار شگفت‌انگیزتر از آن استعارهٔ تیره و منسوخ مکانیکی ترسیم کرده است. این تصویر گاهی خارق‌العاده و گیج‌کننده به نظر می‌رسد، اما در نهایت بار کنترل را از دوش ژنوم برمی‌دارد و در عوض به اصول و فرایندهای خودسازمان‌دهنده اتکا می‌کند؛ سازوکارهایی که دقیقاً چون به هدایت سفت‌وسخت ژنتیکی نیاز ندارند، از آسیب‌پذیری چنین هدایتی مصون می‌مانند. باید تأکید کنم که این دیدگاه جدید هیچ تضادی با ایدهٔ نوداروینی ندارد که می‌گوید تکامل، ما و همهٔ موجودات دیگر را شکل می‌دهد و به انتقال ژنتیکی اطلاعات بین والدین و فرزندان وابسته است. بااین‌حال در این دیدگاه جدید، ژن‌ها دیکتاتورهای خودخواه و خودکامه نیستند و هیچ عاملیت واقعی‌ای ندارند، چون نمی‌توانند به‌تنهایی کاری انجام دهند و توان تصمیم‌گیری ندارند. ژن‌ها خدمت‌گزارند، نه ارباب.

در اصل، این دیدگاه جدید در زیست‌شناسی، که هنوز کامل نیست و در واقع هنوز اول راه است، بر یک باور متکی است. گویی ژن‌ها به این باور رسیده‌اند که فرایندهایی فراتر از توان کنترل مستقیم آن‌ها وجود دارد که درعین‌حال امکان رشد، شکوفایی و تکامل موجودات زنده را فراهم می‌کند (زیست‌شناسان نیز باید این باور را گسترش دهند). هروقت شرایط پیچیده و وظایف دشوار شود، این شیوه بارها و بارها در زیست‌شناسی ظاهر می‌شود؛ اولین بار که موجودات زنده چندسلولی شدند، وقتی توانستند ازطریق حواس مختلف مانند بینایی و بویایی با محیط خود سازگار و از همهٔ غنای آن بهره‌مند شوند و زمانی‌که حساسیت و دریافت آن‌ها از محیط به شناخت واقعی تبدیل شد. به نظر می‌رسد حیات رفته‌رفته راهبردی را کنار گذاشت که واکنش مستقیم هر موجود در برابر هر محرک را از پیش تعیین می‌کرد و به‌جای آن، اجزای بنیادین سیستم‌هایی را فراهم کرد که بتوانند راه‌حل‌هایی نوظهور، منعطف، چندمنظوره، سازگار و مقاوم برای زیستن ارائه دهند.

تصویر جدید، دیدگاه قدیمی را رد می‌کند که سیستم‌های زنده را به‌منزلهٔ ماشین در نظر می‌گرفت. تاکنون ماشینی که ساختهٔ دست بشر باشد مانند سلول‌ها عمل نکرده است. البته منظور این نیست که موجودات زنده از مولکول‌هایی بی‌جان و فاقد حس ساخته نشده‌اند؛ نیازی به بازگشت به مفهوم قدیمی «حیات‌گرایی»[1] نیست که وجود نیرویی اسرارآمیز را عامل تمایز میان مادهٔ زنده و غیرزنده می‌دانست. بااین‌حال، کنارگذاشتن دیدگاه ماشینی از مقولهٔ حیات به ما امکان می‌دهد واقعیتی را ببینیم که زندگی را از جهان بی‌جان متمایز می‌کند. این تمایز به‌اندازهٔ شکل‌گیری خودِ جهان، بنیادی و شگفت‌انگیز است، اما برای مطالعهٔ علمی بیشتر جای بررسی دارد و بنابراین به‌احتمال زیاد دردسترس‌تر است.

به‌ویژه حیات را نباید با نوع خاصی از ماشین، یعنی کامپیوتر، یکسان فرض کرد. درست است که حیات چندین نوع محاسبه انجام می‌دهد و برخی ویژگی‌های کلیدی زیست‌شناسی را تا حد زیادی می‌توان با استفاده از نظریهٔ اطلاعات درک کرد که برای توصیف فناوری‌های اطلاعات مدرن توسعه یافته است. علاوه‌بر این، مقایسه با ماشین‌ها گاهی روش مفیدی برای اندیشیدن دربارهٔ نحوهٔ عملکرد بخش‌هایی از فرایند حیات است. من گاهی چنین تشبیه‌هایی به کار می‌برم. می‌توان گفت سلول‌های ما دارای پمپ‌ها، موتورها، حسگرها، دستگاه‌های ذخیره‌سازی و خوانش اطلاعات‌اند. اما این دیدگاه با روند مدرنِ رایجی که ویژگی‌های اساسی موجودات زنده را با مدارهای الکتریکی، کامپیوترها یا کارخانه‌ها مقایسه می‌کند کاملاً متفاوت است. امروز هیچ کامپیوتری مثل سلول‌ها عمل نمی‌کند و اصلاً مشخص نیست که در آینده چنین چیزی ممکن باشد یا معلوم نیست روش مناسبی برای ساخت کامپیوتر خواهد بود یا نه. هیچ‌یک از ساخته‌های دست بشر تاکنون قیاس مناسبی برای سیستم‌های زنده نبوده است. این‌ها گونه‌ای متفاوت از موجودات با منطق خاص خود هستند و باید استعارهٔ ویژهٔ خود را داشته باشند.

ما تا حدودی با این منطق آشنا هستیم. می‌دانیم برای حل مشکلات دشوار، گاهی بهتر است به‌جای جست‌وجوی پاسخی مشخص و تجویزی با روش‌های تقلیل‌گرایانه، مهارت‌های مرتبط را در اختیار افراد قرار دهیم و سپس به آن‌ها اعتماد کنیم تا شیوهٔ خود را برای یافتن راه‌حل مؤثر پیدا کنند؛ راه‌حلی انعطاف‌پذیر و با قابلیت سازگاری با شرایط متغیر. اکنون درمی‌یابیم که با سازمان‌دهی سیستم‌های انسانی به این شیوه، در واقع در سطح دیگری از سلسله‌مراتب زیستی همان فرایندی را بازآفرینی می‌کنیم که در درون ما جریان دارد: ما از خرد نحوهٔ کارکرد حیات بهره می‌بریم.

---

1. vitalism

محور اصلی این دیدگاه جدید دربارهٔ حیات، تغییری در مفهوم خودِ حیات است. مسئلهٔ تعریف «حیات» همواره زیست‌شناسی را سردرگم کرده است و هنوز توافقی قطعی بر سر آن وجود ندارد. اما یکی از بهترین روش‌ها برای توصیف موجودات زنده، توجه به نقش آن‌ها در آفرینندگی معناست؛ نه ویژگی‌هایشان، مانند تکثیر، متابولیسم یا تکامل که معمولاً برای تعریف حیات در نظر گرفته می‌شوند. موجودات زنده محیط خود ازجمله بدنشان را برای یافتن ویژگی‌های معنادار جست‌وجو می‌کنند: مانند رطوبت، مواد مغذی یا گرما. اگر بگوییم برای ما انسان‌ها یکی از آن مقوله‌های معنادار عشق است، برداشتی احساسی نیست، بلکه صرفاً از همان منطق پیروی می‌کند.

یکی از دلایل اصلی ناکامی تشبیه حیات به ماشین این است که سلول‌ها در مقیاس مولکولی عمل می‌کنند و در جهان مولکولی اوضاع متفاوت است. جهان مولکول‌ها پر از آشفتگی و تصادف و پیش‌بینی‌ناپذیر است و زندگی برخلاف تصور ما با این بی‌نظمی‌ها نمی‌جنگد، بلکه راه‌هایی برای بهره‌گیری از آن‌ها می‌یابد. حیات در بستر آشوب و تنوع و وقایع تصادفی و نوسان‌های دائمی رشد می‌کند و بدون آن‌ها اصلاً نمی‌توانست وجود داشته باشد.

پس هیچ پاسخ یکتایی برای پرسش «حیات چگونه کار می‌کند» وجود ندارد. زندگی فرایندی سلسله‌مراتبی است و هر سطح قوانین و اصول خاص خود را دارد؛ قوانین حاکم بر ژن‌ها، پروتئین‌ها، سلول‌ها، بافت‌ها و ساختارهای بزرگ‌تر بدن همچون دستگاه ایمنی و دستگاه عصبی. همهٔ این سطوح ضروری‌اند؛ هیچ‌یک نمی‌تواند ادعای برتری داشته باشد. همان‌طور که زیست‌شناس برندهٔ نوبل، فرانسوا ژاکوب[1]، گفته است: «هیچ سازمان‌یافتگی واحدی در موجودات زنده وجود ندارد، بلکه مجموعه‌ای از سازمان‌ها درون یکدیگر جای گرفته‌اند؛ مانند جعبه‌های تودرتو یا عروسک‌های روسی[2]، داخل هریک سازمانی دیگر پنهان است.»

بنابراین به‌گفتهٔ میشل مورانژ[3]، استاد زیست‌شناسی در اکول نرمال سوپریور[4] پاریس: «عملکرد زیستی از سازمان‌دهی پیچیده‌ای ناشی می‌شود که همهٔ مقیاس‌های حیات را در بر می‌گیرد، از مولکول‌ها گرفته تا کل ارگانیسم‌ها یا حتی گروه‌هایی از موجودات زنده. منشأ و توضیح عملکردهای پیچیدهٔ زیستی در همین سلسله‌مراتب ساختاری یافت می‌شود، نه در اجزای مولکولی ساده‌ای که فقط محصولات بیان ژنی را هدایت می‌کنند.» حیات شامل انبوهی از موجودات پیچیده است.

---

1. François Jacob
2. nests of boxes or Russian dolls
3. Michel Morange
4. the Ecole Normale Supérieure

حق داریم از کارکرد چنین سیستمی شگفت‌زده شویم. اگر مثل بیل کلینتون فکر می‌کنید، امیدوارم به این نتیجه برسید که پدیده‌های زیستی بسیار هوشمندانه‌تر و خلاقانه‌تر از آن است که پیام پروژهٔ ژنوم انسانی القا می‌کرد. در غیر این صورت، بگذارید مسحور نبوغ شگرف حیات شوید.

تعمیر کردن رادیوی زنده

شیوه‌ای که برای حل مسئله‌ای انتخاب می‌کنیم اطلاعات زیادی را دربارهٔ دیدگاه ما به ماهیت آن مسئله آشکار می‌کند. در سال ۲۰۰۲، یوری لازبنیک[1] زیست‌شناس که آن زمان در آزمایشگاه کولد اسپرینگ هاربر[2] در نیویورک کار می‌کرد، روشی به‌یادماندنی پیدا کرد تا شیوهٔ معمول مطالعهٔ زیست‌شناسی را نشان دهد.

او تعریف می‌کند وقتی استادیار بود، با یکی از همکاران ارشدش دربارهٔ گردباد گیج‌کنندهٔ[3] فعالیت‌های پرشتاب در رشتهٔ تخصصی‌اش (مطالعهٔ مرگ خودبه‌خودی سلول یا آپوپتوز) مشورت کرد. به او گفته شد پژوهشگران زیست‌شناسی در گوشهٔ آزمایشگاه خود، دور از چشم دیگران، سخت مشغول کارند تااینکه مشاهده‌ای غیرمنتظره باعث شود خیلی‌ها به این نتیجه برسند مسئله‌ای که پیش‌تر اسرارآمیز می‌نمود، شاید در نهایت حل‌شدنی باشد و فراتر از آن، شاید این تلاش به ساختن دارویی معجزه‌آسا بینجامد. اما وقتی موضوع سروصدا می‌کند و صدها یا هزاران مقاله دربارهٔ آن منتشر می‌شود، اختلاف‌ها و تناقض‌ها آشکار می‌شوند، پیش‌بینی‌ها شکست می‌خورند، مشکل از همیشه دشوارتر به نظر می‌رسد و آن داروها هرگز ساخته نمی‌شوند.

لازبنیک نوشت که کلیت این سناریو «نشان می‌دهد نقصی اساسی و رایج در رویکرد زیست‌شناسان به مسائل وجود دارد». او برای یافتن آن نقص به توصیهٔ یکی از معلمان دبیرستانش عمل کرد و آن رویکرد را در مسئله‌ای با راه‌حل شناخته‌شده آزمود. او می‌خواست ببیند روش‌شناسی معمول در زیست‌شناسی برای نشان‌دادن چگونگی کارکرد رادیوی ترانزیستوری نیز کارآمد است یا نه. باید ببینیم این رویکرد رایج چگونه پیش می‌رود. او نوشت ابتدا پژوهشگران، تأمین‌کنندگان مالی را متقاعد می‌سازند تا اجازه دهند تعداد زیادی رادیوی سالم بخرند که همه مثل هم کار می‌کنند. سپس آن‌ها را باز و با رادیوی خراب مقایسه می‌کنند:

> در نهایت، یاد می‌گیریم چگونه رادیوها را باز کنیم و اجسامی با شکل‌ها، رنگ‌ها و اندازه‌های مختلف می‌یابیم. آن‌ها را براساس ظاهرشان توصیف و دسته‌بندی

1. Yuri Lazebnik
2. Cold Spring Harbor Laboratory
3. perplexing whirlwind

می‌کنیم؛ مثلاً خانواده‌ای از اجسام فلزی مربعی، خانواده‌ای از اشیای گرد با رنگ روشن با دو پایه، اشیای گرد با سه پایه و غیره. ازآنجاکه اجسام رنگ‌های متفاوتی دارند، بررسی می‌کنیم آیا تغییر رنگ بر عملکرد رادیو تأثیر می‌گذارد یا نه. اگرچه تغییر رنگ فقط اثرات ضعیفی خواهد داشت (موسیقی هنوز پخش می‌شود، اما گوش‌های تیز کمی اعوجاج را تشخیص می‌دهند)، این رویکرد به انتشار مطالب زیاد و درگرفتن بحث‌های داغی منجر خواهد شد.

رویکرد دیگر آن است که اجزا را یکی‌یکی حذف کنیم. گاهی پژوهشگری خوش‌شانس قطعه‌ای پیدا می‌کند که حذف آن دستگاه را از کار می‌اندازد. «همکار ما با شادمانی آن قطعه را *جزء بازیافتهٔ تصادفی*[1] نام‌گذاری می‌کند، سپس متوجه می‌شود که آن جزء ضروری است، زیرا یگانه رابط بین جسمی طویل و بازشونده و بقیهٔ رادیوست.[2] این جسم نیز به‌درستی مهم‌ترین قطعهٔ رادیو نام‌گذاری خواهد شد.» و به همین ترتیب ادامه می‌یابد. لازبنیک می‌گوید در نهایت «همهٔ اجزا فهرست‌بندی می‌شوند، ارتباطات بین آن‌ها شرح داده می‌شود و پیامدهای حذف هر جزء یا ترکیب‌های مختلف آن‌ها ثبت می‌شود.»

حالا باید این سؤال اساسی را بپرسیم: «آیا اطلاعاتی که جمع کرده‌ایم به ما کمک می‌کند رادیو را تعمیر کنیم؟» اگر خوش‌شانس باشیم، در موارد نادر ممکن است کارساز باشد؛ اما زیست‌شناسان واقعاً علتش را نمی‌دانند. در بیشتر موارد هم اصلاً جواب نمی‌دهد.

پس مشکل چیست؟ لازبنیک استدلال کرد که زیست‌شناسی زبان نادرستی را به کار می‌برد؛ یعنی زبانی کیفی و گاه شخصی‌سازی‌شده مثل «این جزء با آن جزء برهم‌کنش دارد»، به‌جای نقشهٔ مداری دقیق مشابه آنچه مهندسان برق از آن‌ها استفاده می‌کنند. مقالهٔ کنایه‌آمیز او واقعیت مهمی را آشکار کرد: شیوهٔ کار بخش بزرگی از زیست‌شناسی تجربی ممکن است به فهم واقعی چگونگی عملکرد این سیستم‌ها منجر نشود. بااین‌حال، پیشنهاد او برای بهبود این وضعیت، یعنی تعریف زبانی رسمی مبتنی‌بر مهندسی، متکی به قیاس میان سیستم زنده و رادیو بود. لازبنیک پیش‌بینی کرد برخی ممکن است اعتراض کنند که «نمی‌توان رویکردهای مهندسی را برای سلول‌ها به کار برد، زیرا این شگفتی‌های کوچک اساساً با اشیایی که مهندسان مطالعه می‌کنند متفاوت‌اند.» اما او احساس می‌کرد این دیدگاه شبیه اعتقاد به *حیات‌گرایی* است.

---

۱. Serendipitously Recovered Component (Src)؛ «سرندیپیتی» به یافته یا دستاوردی تصادفی اشاره دارد که یابندهٔ آن در جست‌وجویش نبوده و اتفاقی پیدا شده است. بر همین اساس، کلمهٔ Serendipitously در اینجا «تصادفی» ترجمه شده است. - م

۲. همان‌طور که خواهید دید، این کنایه‌ای طعنه‌آمیز به نحوهٔ نام‌گذاری ژن‌هاست.

این ایراد اصلاً بی‌جا نیست. اگر رادیو اساساً قیاس درستی نباشد، اگر زیست‌شناسی مانند هیچ نظام مهندسی‌شده‌ای که تاکنون ساخته‌ایم عمل نکند، چه؟ اگر منطق عملیاتی آن از بنیاد متفاوت باشد، چه؟ در آن صورت، به چیزی بیش از زبان رسمی بهتری نیاز خواهیم داشت. ما به شیوه‌ای نو برای اندیشیدن نیاز داریم؛ البته نه شیوه‌ای که بگوید حیات با نیروی حیاتی مرموزی کار می‌کند. من معتقدم این همان وضعیتی است که با آن روبه‌رو هستیم و کامیابی‌ها و ناکامی‌های بسیاری از پژوهش‌های زیست‌شناسی در دو یا سه دههٔ گذشته این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کنند.

در سال ۲۰۰۰، مارک کرشنر، جان گرهارت و تیم میچیسون[1]، زیست‌شناسان سلولی، با کنایه‌ای طنزآمیز به حیات‌گرایی، خواستار راهی بهتر برای درک حیات شدند؛ راهی فراتر از توصیف دقیق اجزای حیات و راه‌های ارتباطشان. آن‌ها با لحنی شوخ‌طبعانه[2] این دیدگاه بهبودیافته را «حیات‌گرایی مولکولی» نامیدند و گفتند: «در آستانهٔ قرن بیست‌ویکم، آخرین نگاه حسرت‌بارمان را به حیات‌گرایی می‌اندازیم، تنها برای آنکه بر نیاز نهایی‌مان به فراتررفتن از تحلیل ژنومیِ اجزای پروتئین و RNA سلول، که به‌زودی به گذشته خواهد پیوست، تأکید کنیم و به بررسی خواص «حیاتی» عملکرد مولکولی، سلولی و ارگانیسمی روی آوریم.»

به بیان دیگر، ما به عبارت همان‌گویانهٔ[3] «نیروی حیات» نیاز نداریم، اما باید بپرسیم چه چیزی زندگی را از بی‌جان‌بودن اجزایش متمایز می‌کند. تنها در این صورت است که امیدوار می‌شویم بتوانیم واقعاً «رادیویی زنده» را تعمیر کنیم.

برای ادامهٔ زندگی، باید تعمیرات زیادی انجام دهیم. بدن اغلب دچار اختلال می‌شود؛ عمدتاً اختلالات کوچک، گاهی هم بزرگ. ما در فرایند ترمیمی که به آن پزشکی می‌گوییم، نسبتاً ماهر شده‌ایم، اما اغلب از راه آزمون‌وخطا، زیرا کتابچه‌راهنماهای خوبی در اختیار نداشتیم؛ بلکه فقط گهگاه نگاهی اجمالی بر چگونگی عملکرد بخش‌های مختلف می‌انداختیم.

همین حالا نیز دیدگاه نوظهوری که دربارهٔ چگونگی عملکرد حیات در درون ما شکل گرفته، موجب بازنگری‌هایی در پزشکی شده است؛ مثلاً در شیوهٔ طراحی داروها و اینکه چرا پیشگیری از برخی بیماری‌ها مانند سرطان یا درمان آن‌ها این‌قدر دشوار است. برخی پژوهشگران اکنون گمان می‌کنند شاید زمان آن رسیده باشد که کل فلسفهٔ زیربنایی تحقیقات پزشکی دگرگون شود: برای نمونه، به‌جای مطالعه و مقابله با بیماری‌ها به‌صورت جداگانه یا

1. Marc Kirschner, John Gerhart, and Tim Mitchison
2. light-heartedly
3. tautological

تلاش برای نابودی عوامل بیماری‌زا (که معمولاً از ما باهوش‌ترند و سریع‌تر از آنکه بتوانیم درمان‌هایمان را بازسازی کنیم، خود را سازگار می‌کنند)، با استفاده از گلوله‌های جادویی[1] مخصوص خودشان، باید دیدگاهی یکپارچه دربارهٔ بیماری داشته باشیم. بسیاری از بیماری‌ها اثرات خود را ازطریق مسیرهای مشترک اعمال می‌کنند و راهبردهای مقابله با بیماری‌های گوناگون ممکن است شامل رویکردهایی مشابه یا حتی یکسان باشد؛ به‌ویژه آن‌هایی که با دستگاه ایمنی سروکار دارند.

به‌علاوه، همان‌طور که دانشمان دربارهٔ زمان و مکان مداخله در فرایندهای زیستی بیش‌تر می‌شود، می‌توانیم خودِ زندگی را مقوله‌ای با قابلیت بازطراحی در نظر بگیریم. در این راستا، از دههٔ ۱۹۷۰ تلاش‌هایی نظام‌مند با مهندسی ژنتیک آغاز شد، اما این تلاش‌ها معمولاً فقط برای ساده‌ترین اشکال حیات مانند باکتری‌ها کارایی داشت. به‌علاوه، این تلاش‌ها محدود بود، زیرا فقط در یک سطح از سلسله‌مراتب زیستی یعنی ژنتیک مداخله می‌کرد. به‌هیچ‌وجه روشن نبود که با دست‌کاری ژن‌ها بتوان به هر هدف مطلوبی رسید و اکنون می‌توانیم دلیل آن را ببینیم: چراکه معمولاً پیامدهای عمل ژن‌ها در سطح سلول‌ها و جانداران منحصربه‌فرد نیست.

امروز، بازطراحی و بازپیکربندی موجودات زنده، بافت‌ها و جانداران را در سطوح مختلف آغاز کرده‌ایم. می‌توانیم سلول‌ها را برای انجام وظایف جدید بازبرنامه‌ریزی کنیم تا به ساختارهای تازه‌ای تبدیل شوند. می‌توانیم آنچه برخی سامانه‌های زندهٔ مهندسی‌شدهٔ چندسلولی[2] می‌نامند، پدید آوریم: نه صرفاً توده‌هایی از مادهٔ زنده که در محیط کشت با مواد مغذی تغذیه می‌شوند، بلکه موجوداتی با ساختار، شکل و کارکرد مانند «اندام‌واره‌ها»[3] که شبیه اندام‌های مینیاتوری‌اند. بااین‌حال، ما هنوز در آغاز این مسیریم و می‌کوشیم قوانین و الگوهای سازمان‌یابی سلولی را کشف کنیم که شکل‌های نهایی را تعیین می‌کنند. با پیشرفت دانش و ابزارهای ما، توانایی‌مان در هدایت و انتخاب پیامدها ژرف‌تر می‌شود. برخی پژوهشگران بر این باورند که در نهایت این توانایی به ما امکان می‌دهد اندام‌ها و اعضا را بازتولید کنیم و شاید حتی شکل‌های تازه‌ای از حیات بیافرینیم که تکامل زیستی هرگز تصورش را هم نکرده است.

---

1. magic bullets
2. multicellular engineered living systems
3. organoids

نگاهی به آینده

در این کتاب‌راهنما مطالب فراوانی آمده است، چون زندگی اجزای بسیار زیادی دارد. زیست‌شناسی مدرن بسیار پیچیده است؛ انبوهی از جزئیات دقیق، اصطلاحات غامض و سرواژه‌های نامفهوم دارد که آن را غرق ابهام می‌کند. افزون‌بر آن، پر از تبصره‌ها و استثناهایی است که بیان هرگونه اظهارنظری را بدون توضیح و پاورقی تقریباً ناممکن می‌کند.

بااین‌حال ادعای من این است که زندگی صرفاً مجموعه‌ای از اجزای بسیار زیاد نیست. واکنش رایج به هر تلاشی برای تعمیم قاعده‌ای کلی در زیست‌شناسی این است: «اما فلان استثنا چه می‌شود؟»، گویی تلاش برای دیدن چشم‌انداز جنگل فراتر از تک‌تک درختان، خود نوعی خطا[1] باشد. اما با قاطعیت نمی‌توان گفت که حیات صرفاً آشفته‌بازاری گیج‌کننده از جزئیات ریز است که تمامی اجزای آن به یک اندازه اهمیت دارند. چنین چیزی نمی‌تواند درست باشد، زیرا هیچ سامانهٔ بسیار پیچیده‌ای نمی‌تواند این‌گونه عمل کند. اگر جانداران این‌گونه بودند، دائماً از کار می‌افتادند و در برابر کوچک‌ترین فرازونشیب زندگی فرومی‌پاشیدند. مانند آن است که با یک میلیارد چرخ‌دندهٔ کوچک درهم‌تنیده دستگاهی بسازیم که اگر فقط یکی از آن‌ها بشکند یا گیر کند یا از جای خود خارج شود، کل دستگاه از حرکت بایستد و انتظار داشته باشیم این دستگاه هشتاد سال یا بیشتر کار کند، آن‌هم درحالی‌که مدام و به‌شدت تکان داده می‌شود.

نه، بی‌تردید قوانین سطح بالایی وجود دارند که بر زندگی حاکم‌اند؛ قوانینی که به یکپارچگی کامل و جای‌گیری دقیق همهٔ اجزای آن وابسته نیستند. اما اگر نشود آن‌ها را در این ایده خلاصه کرد که ما «ماشین‌هایی هستیم که ژن‌ها ما را ساخته‌اند [و ما را تعریف و اداره می‌کنند]»، پس این قوانین چه هستند؟ این تناقضی عجیب است که در سال‌های اخیر هرچه این اصول آشکارتر شده‌اند، هم‌زمان زیر انبوهی از داده‌ها پنهان مانده‌اند. داده‌ها می‌توانند برای کشف قوانین و الگوهای کلی بسیار ارزشمند و در واقع ضروری باشند، اما فقط تا زمانی که خودِ داده‌ها را (برای مثال با ساختن کتاب‌هایی از آن‌ها) به موضوعی مقدس بدل نکنیم.

ما در گردآوری داده‌های زیستی، به‌ویژه دربارهٔ توالی ژنوم‌ها، ساختار پروتئین‌ها و سایر مولکول‌های زیستی و تنوع اجزای مولکولی در سلول‌ها و برهم‌کنش‌های میان آن‌ها، به مهارتی چشمگیر دست یافته‌ایم. بنابه الگوی دانش ژنومیک، این مجموعه‌داده‌ها معمولاً با پسوند «ـوم» شناخته می‌شوند: پروتئوم‌ها، کانکتوم‌ها، میکروبیوم‌ها، ترنسکریپتوم‌ها،

---

1. solecism

متابولوم‌ها[1] و مانند آن‌ها. امروز، به‌ویژه با کمک هوش مصنوعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشینی که می‌توانند مجموعه‌داده‌هایی بسیار بزرگ‌تر از توان انسان را تحلیل کنند، توانسته‌ایم این «وم‌ها» را بررسی و استخراج کنیم تا نگاهی اجمالی به نظم‌ها و هم‌بستگی‌های درون آن‌ها بیندازیم. همهٔ این‌ها بسیار ارزشمند است، اما در نهایت اطلاعاتی که ارائه می‌دهند بیشتر توصیفی است تا توضیحی. گاهی به نظر می‌رسد برخی زیست‌شناسان همین را ترجیح می‌دهند؛ امید دارند که داده‌کاوی برای پیش‌بینی کافی باشد، بی‌آنکه ناگزیر باشیم معنای همهٔ داده‌ها را دریابیم یا روایت‌هایی منسجم برای توضیحشان بیابیم. در عوض، می‌توانیم صرفاً به کامپیوترها تکیه کنیم تا هم‌بستگی‌هایی میان این بانک داده و آن‌یکی بیابند. بااین‌حال روشن نیست که تنها با این رویکرد بتوانیم مداخله‌هایی بیشتر و مؤثرتر برای سلامت انسان فراهم کنیم و پرواضح است که این رویکرد نمی‌تواند جایگزین فکری رضایت‌بخشی برای فهم واقعیِ چگونگی کارکرد حیات باشد.

با توجه به این نکته می‌خواهم به‌اختصار برخی مضامین و اصولی را پیشنهاد کنم که در ادامه بارها در این کتاب ظاهر می‌شوند و امیدوارم بتوانند مانند سرنخ‌هایی مشترک ما را در عبور از این چشم‌انداز چالش‌برانگیز راهنمایی کنند.

پیچیدگی و افزونگی[2]: یک بار سردبیر پیشین بخش زیست‌شناسی مجلهٔ نیچر[3] با نکته‌سنجی گفت در زیست‌شناسی پاسخ همیشه «بله» است. (در واقع شاید بتوان گفت پاسخ همیشه «بله، اما...» است.) منظورش این بود که برای وقوع یک فرایند مسیرهای گوناگونی وجود دارد؛ مثلاً یک سیگنال چگونه درون سلول منتقل شود، یک ژن چگونه روشن یا خاموش شود یا سلول‌ها چگونه در ساختاری خاص جمع شوند. این ویژگی از دیرباز نوعی سازوکار ایمنی در برابر خرابی تلقی شده است؛ ازآنجاکه برهم‌کنش میان دو مولکول همیشه تضمین‌شده نیست، تکامل نسخه‌های پشتیبان فراهم کرده است. اما در واقع خواهیم دید که منطقِ افزونگی زیستی اغلب از نوعی دیگر است: در این سامانه نوعی ابهام یا عدم‌قطعیت وجود دارد، به‌گونه‌ای که ترکیب‌های متفاوتی از برهم‌کنش‌ها می‌توانند به نتیجه‌ای یکسان منتهی شوند و ترکیبی خاص می‌تواند بسته به شرایط زمینه‌ای، خروجی‌های متفاوتی داشته باشد. به نظر می‌رسد این شیوهٔ مؤثرتری برای انجام کارها در ریزجهانی است که پر از تصادف، نویز و نوسان‌های اتفاقی است.

---

1. proteomes, connectomes, microbiomes, transcriptomes, metabolomes

۲. Complexity and Redundancy: «افزونگی» که معادل Redundancy انتخاب شده است، در زیست‌شناسی به‌معنای وجود نسخه‌ها یا مسیرهای زیستیِ متعدد موازی است که عملکرد یکسان یا مشابهی دارند و در نتیجه اختلال در یکی از آن‌ها می‌تواند با عملکرد دیگری جبران شود.-م

3. *Nature*

ماژولاریتی[۱]: حیات هرگز ناچار نیست از ابتدا شروع شود. تکامل با آنچه از پیش وجود دارد کار می‌کند، حتی اگر به‌معنای تغییر مسیر آن به‌سوی اهداف جدید باشد. ما می‌توانیم (با احتیاط فراوان!) آن را با یک مهندس الکترونیک مقایسه کنیم که از قطعات پیش‌ساختهٔ مدار مانند دیودها و مقاومت‌ها و عناصر مدار استاندارد مانند نوسان‌سازها و واحدهای حافظه برای ساخت دستگاه‌های جدید استفاده می‌کند. بنابراین زندگی ساختاری ماژولار دارد. این امر به‌وضوح در ارگانیسم‌های بزرگ مانند انسان آشکار است که از مجموعه‌ای از سلول‌ها ساخته شده‌اند و ساختارهای مشترکی با جانداران دیگر مانند قلب و چشم دارند. ماژولاریتی روشی کارآمد برای ساختن است، زیرا به اجزایی متکی است که قبلاً آزمایش و امتحان شده‌اند و امکان اصلاح یا جایگزینی یک قسمت را کم‌وبیش مستقل از سایر قسمت‌ها فراهم می‌کند.

پایداری[۲]: تاب‌آوری حیات چشمگیر است. پس از تابستانی با خشک‌سالی سهمگین که سراسر انگلستان را به رنگ زرد و قهوه‌ای درآورد، تنها چند رگبار سنگین کافی بود تا سبزی دوباره پدیدار شود. زندگی آسیب‌ناپذیر نیست، اما در یافتن راه‌هایی برای عبور از ناملایمات که در جهان به‌وفور رخ می‌دهند به‌طرزی خارق‌العاده توانمند است. ما هرگز نمی‌توانیم حیات را به‌درستی توضیح دهیم، مگر آنکه منشأ این پایداری را بیابیم. بی‌تردید افزونگی زیستی که پیش‌تر به آن اشاره شد بخشی از این توانمندی است، اما پایداری در زمینه‌های بسیاری دیده می‌شود؛ در اینکه اغلب رویان‌ها «درست» رشد می‌کنند، در ترمیم زخم‌ها، مهار عفونت‌ها و در معنایی گسترده‌تر، در این‌که زندگی روی زمین نزدیک به چهار میلیارد سال تداوم یافته است.

کانالیزه‌شدن[۳]: حیات چیزی است که فیزیک‌دانان ممکن است آن را «سامانه‌ای با ابعاد بسیار زیاد»[۴] بنامند؛ تعبیری پرزرق‌وبرق برای گفتن اینکه اتفاقات زیادی هم‌زمان در آن رخ می‌دهد. فقط در یک سلول، شمار برهم‌کنش‌های ممکن میان مولکول‌های مختلف نجومی است و در بدن ما حدود ۳۷تریلیون سلول وجود دارد. چنین سامانه‌ای تنها زمانی می‌تواند پایدار باشد که از دل این پیچیدگی فقط تعداد محدودی از «حالت‌های جمعیِ بودن»[۵] پدیدار شوند. تعداد حالت‌های متمایزی که سلول‌های ما اتخاذ می‌کنند، بسیار بسیار کمتر از شمار تفاوت‌هایی است که یک سلول ازنظر جزئیات با سلولی دیگر دارد. به همین ترتیب، تنها

---

۱. Modularity: ویژگی سامانه‌های زیستی که دارای بخش‌ها یا ماژول‌هایی هستند، به‌شکلی که این بخش‌ها می‌توانند نسبتاً مستقل از یکدیگر عمل کنند؛ این استقلال نسبی امکان تغییر، جابه‌جایی یا تکامل بخشی از سامانه را بدون اختلال در کل مجموعه فراهم می‌کند. -م

2. Robustness
3. Canalization
4. high-dimensional system
5. collective ways of being

شمار محدودی از بافت‌ها و شکل‌های بدنی می‌توانند از فرایند تکوین رویان پدید آیند. کنراد وادینگتونِ[1] زیست‌شناس در سال ۱۹۴۲ این محدودشدگی شدید مسیرهای ممکن را «کانالیزه‌شدن» نامید. جاندار می‌تواند میان تعداد اندکی از حالت‌های ممکن و تعریف‌شده جابه‌جا شود، اما نمی‌تواند در حالت‌های دلخواه و نامحدود میان آن‌ها وجود داشته باشد؛ همان‌طور که یک توپ در مسیری ناهموار ناگزیر است به ته یکی از دره‌ها بغلتد.

در همین کتاب می‌بینیم که این موضوع دربارهٔ سلامت و بیماری نیز صادق است: علت‌های بیماری بسیارند، اما نمودهای آن‌ها در سطح فیزیولوژیک و علائم بالینی اغلب شباهت‌های چشمگیری دارند.

سازمان‌یافتگی چندسطحی، چندجهتی و سلسله‌مراتبی[2]: برای فهم چگونگی کارکرد حیات، هیچ نقطهٔ واحدی برای جست‌وجو وجود ندارد. هرگز نمی‌توان همهٔ توضیح‌ها را (چه به‌صورت استعاری و چه به‌معنای دقیق کلمه) در یک سطح از بزرگ‌نمایی یافت. علاوه‌بر این، هر سطح در سلسله‌مراتب سازمان زیستی قوانین خاص خود را دارد که به جزئیات دقیق سطوح پایین‌تر وابسته نیستند. این سطوح نوعی خودمختاری دارند.[3] درعین‌حال، تغییرات می‌توانند میان این سطوح در هر دو جهت انتشار یابند: تغییر در فعالیت ژن‌ها می‌تواند بر رفتار سلول‌ها و کل جاندار تأثیر بگذارد و برعکس، تغییر در سطح جاندار نیز می‌تواند در سطوح پایین‌تر بازتاب یابد.

منطق ترکیبی[4]: برآورد شده است که انسان‌ها می‌توانند حدود یک تریلیون بو را از هم تمییز دهند. دربارهٔ معنای دقیق این عدد مباحثاتی وجود دارد، اما این عدد بسیار بزرگ‌تر از فقط چهارصد مولکول گیرنده‌ای است که در دستگاه بویایی ما وجود دارد. بدیهی است که برای هر بو گیرندهٔ مولکولی جداگانه‌ای وجود ندارد. احساس‌های بویایی مختلف باید از الگوهای متفاوتی از فعال‌سازی همین مجموعهٔ نسبتاً کوچک گیرنده‌ها ناشی شوند. یعنی سیگنال‌های بویایی که مغز ما دریافت می‌کند ترکیبی‌اند. برای مقایسه، تصور کنید که نمایشگرهای تصویری چگونه می‌توانند ازطریق تفاوت در شدت نسبی تنها سه نورِ قرمز، سبز و آبی-بنفش، طیف وسیعی از رنگ‌ها را ایجاد کنند. در زیست‌شناسی به‌جای اتکا به مولکول‌های منحصربه‌فرد برای تولید خروجی‌های متفاوت، از سیگنال‌های مولکولیِ ترکیبی استفادهٔ گسترده‌ای می‌شود، احتمالاً به این دلیل که به اجزای کمتری نیاز دارند، همچنین چندمنظوره، سازگارپذیر و به نویز تصادفی مقاوم‌اند: همهٔ این ویژگی‌ها برای حیات بسیار مفیدند.

---

1. Conrad Waddington
2. Multilevel, multidirectional, and hierarchical organization
۳. این نکته نه‌تنها در مورد زندگی، بلکه به‌طور کلی در دنیای فیزیکی نیز صادق است.
4. Combinatorial logic

خودسازمان‌یابی در چشم‌اندازهای پویا[1]: اتفاق‌های بسیاری در زندگی ممکن است، اما نه همهٔ اتفاق‌ها. تکامل زیستی گزینه‌ها را از میان طیفی بی‌نهایت انتخاب نمی‌کند: الگوها و شکل‌هایی خاص در فضا و زمان پدید می‌آیند که حاصل برهم‌کنش‌های پیچیده و پویای اجزای سامانه‌های زیستی‌اند؛ همان‌طور که ویژگی‌های مشترکی در شهرها، جمعیت‌های جانوری، ساختارهای بلوری یا کهکشان‌ها دیده می‌شود. آن را می‌توان مانند بارش باران بر یک منظره تصور کرد: خودِ آب طوری برنامه‌ریزی نشده است که در جهتی خاص جریان یابد، اما شکل زمین باعث می‌شود در برخی نقاط گرد آید و از نقاط دیگر دور شود. زبان منظره‌ها، حوضچه‌ها و کانال‌ها اغلب در زیست‌شناسی سودمند است.

عاملیت و هدفمندی[2]: «عاملیت» در برخی محافل زیست‌شناسی، به‌ویژه آن‌هایی که با فرایندهای شناختی سروکار دارند، واژه‌ای رایج شده است. مشکل این است که کسی نمی‌تواند بر سر معنای آن به توافق برسد. به‌صورت شهودی شاید چنین تصور کنیم که آنچه موجودات زنده را از مادهٔ بی‌جان متمایز می‌کند همین مفهوم عاملیت است؛ یعنی آن‌ها می‌توانند محیط و خودشان را دست‌کاری کنند تا به هدفی خاص برسند. برای همین، عاملیت با ایده‌هایی دربارهٔ هدفمندی پیوندی ناگسستنی خورده است. احتمالاً به همین دلیل است که مسئلهٔ عاملیت در علوم زیستی مدت‌ها (بیهوده) نادیده گرفته شده است؛ جایی که پرسش‌های مربوط به هدف مدت‌هاست به‌منزلهٔ گونه‌ای غایت‌اندیشی شبه‌عرفانی کنار گذاشته شده‌اند که شاید تنها یک گام با مفهوم هراس‌انگیز طراحی هوشمند[3] فاصله داشته‌اند. نتیجهٔ این غفلت و پرهیز آن است که ممکن است از کنار بارزترین ویژگی حیات بگذریم. به نظر من زمان پذیرش این مفهوم فرا رسیده است و هیچ دلیلی برای ترس از این پذیرش وجود ندارد.

توان علّی[4]: یکی از بزرگ‌ترین موانع در فهم واقعیِ چگونگی کارکرد حیات، ناتوانی در فهم علیت بوده است. این مسئله‌ای دشوار است، نه‌فقط به این دلیل که خودِ علیت موضوعی پیچیده و مناقشه‌برانگیز است، بلکه چون فیلسوفان هنوز دربارهٔ آن اختلاف‌نظر دارند. ما از تجربهٔ روزمره می‌دانیم تشخیص علت یک پدیده چقدر دشوار است. آیا واژه‌هایی که بر صفحهٔ نمایش ظاهر می‌شوند، حاصل ضربه‌های انگشت‌های من بر صفحه‌کلید هستند؟ یا ناشی از پالس‌های الکتریکی در تراشه‌های سیلیکونی کامپیوتر؟ یا حاصل عاملیت انتزاعیِ افکار و احساساتم؟ اما این پرسش‌ها حل‌ناشدنی نیستند و ما ابزارهای مفهومی و ریاضیاتی

1. Self-organization in dynamic landscapes
2. Agency and purpose
3. intelligent design
4. Causal power

برای بررسی آن‌ها در اختیار داریم. بااین‌حال در زیست‌شناسی، همان‌گونه که در جهان به‌طور کلی، اغلب فرض شده است که علیت از «پایین» آغاز می‌شود و به بالا نفوذ می‌کند؛ مثلاً ویژگی‌های فنوتیپی یک جاندار را «ناشی از» ژن‌های آن می‌دانند. همان‌طور که خواهیم دید، درک پیچیده‌تر و دقیق‌تری از علیت زیستی می‌تواند ما را به فهم بهترِ سازوکارهای حیات و نیز مداخلهٔ مؤثرتر برساند.

اگر همه‌چیز در این کتاب درست باشد، معجزه‌ای از سرِ بخت‌واقبال خواهد بود، نه نشانه‌ای از عمق درک یا توان ذهنی من. می‌دانم این جمله برای خواندن ادامهٔ کتاب چندان اعتمادبرانگیز نیست، اما واقعیت این است که دارم دربارهٔ مسائلی می‌نویسم که هنوز میان متخصصان، گاه با شدت، موضوع بحث‌وجدل‌اند. بااین‌همه، تردیدی ندارم که روایت ما از چگونگی کارکرد حیات در چند دههٔ گذشته دگرگون شده و اکنون زمان آن رسیده است که این دگرگونی را به‌صراحت بیان کنیم. باتوجه به اینکه علوم زیستی، از ژنومیک گرفته تا پزشکی دقیق و پژوهش‌هایی در زمینهٔ پیری، باروری، علوم اعصاب و فراتر از آن، روزبه‌روز اهمیت بیشتری در زندگی ما می‌یابند، باور دارم که این کار یک وظیفه است. گرِگ رادیک[1]، تاریخ‌نگار علم، استدلال کرده است که باید «زیست‌شناسیِ زمانهٔ خودمان را به دانش‌آموزان بیاموزیم»، نه ساده‌سازی‌های مرتب و منظمِ نیم‌قرن پیش یا قبل‌تر از آن را. او حق دارد، اما باید آن را به همه بیاموزیم.

بی‌تردید روایت تازه‌ای که در حال شکل‌گیری است، گاه پیچیده‌تر از نیمه‌حقایق[2] گذشته است. اما به باور من این روایت، منسجم و قانع‌کننده است و پیوسته پشتیبانی رشته‌های مستقل پژوهشی گوناگون را دارد؛ از ژنتیک و زیست‌شناسی مولکولی گرفته تا زیست‌شناسی سلولی، زیست‌فناوری، نظریهٔ تکامل و پزشکی. بسیاری از جزئیات هنوز مبهم و مناقشه‌برانگیزند، اما طرح کلی اکنون چنان استوار به نظر می‌رسد که نمی‌توان به‌سادگی از آن چشم پوشید. و آن‌چه این روایت دربارهٔ فرایند شگفت‌انگیز پدیدآورندهٔ شکلی از ماده می‌گوید که توانسته آغاز به فهم خودش کند، یعنی ما، به‌راستی هیجان‌انگیز است. به‌علاوه، این نگاه تازه به زندگی ما را دوباره به جهان هستی متصل می‌کند. این دیدگاه جایگزین یا نفی‌کنندهٔ ایده‌های پیشین دربارهٔ انتخاب طبیعی نیست، بلکه آن‌ها را ژرف‌تر می‌سازد تا بتوانیم آنچه واقعاً در موجودات زنده متفاوت و ویژه است بهتر ببینیم: اینکه «زنده‌بودن» واقعاً یعنی چه.

---

1. Greg Radick
2. half-truths

یک

پایان دوران ماشین

دیدگاهی جدید به حیات

در دورهٔ همه‌گیری کرونا، مارجری که آن زمان ۸۸ساله بود و در خانهٔ سالمندان زندگی می‌کرد، یکی از میلیون‌ها انسانی بود که به این بیماری مبتلا شد. او زنی نحیف و مبتلا به آسم و بیماری انسدادی مزمن ریه[1] بود. او قبل از ابتلا به کرونا به من گفته بود: «اگر مبتلا شوم، کارم تمام است.»

یکی دیگر از کسانی که به این بیماری مبتلا شد مرد ۵۶ساله‌ای به نام ری[2] بود؛ فردی سالم و بدون هیچ‌گونه بیماری زمینه‌ای که او را در فهرست افراد در معرض خطر قرار دهد.

یکی از این دو نفر، که هر دو واقعی‌اند و من نامشان را تغییر داده‌ام، متأسفانه بر اثر پیامدهای ویروس جان باخت. البته اگر قرار بود ماجرا طبق پیش‌بینی شما پیش برود، آن را این‌طور روایت نمی‌کردم. وقتی مارجری به‌سرعت از بیماری بهبود یافت، خودش بیشتر از همه شگفت‌زده شده بود.

داستان‌های بی‌شماری از این دست وجود دارد؛ مرگ‌های غم‌انگیز و غیرمنتظره و بهبودی‌های باورناپذیر. درحالی‌که مشخص بود سالمندان ازنظر آماری بیش از همه در معرض خطر بیماری کرونا قرار دارند، هیچ‌کس دقیق نمی‌دانست بدن خودش چگونه به این عفونت واکنش نشان می‌دهد. بسیاری از افراد بی‌آنکه بدانند ویروس را در بدنشان داشتند و احتمالاً نادانسته آن را به دیگرانی منتقل می‌کردند که ممکن بود از اثرات آن جانشان را از دست

1. COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)
2. Ray

بدهند. اکثر قریب‌به‌اتفاق افرادی که به ویروس مبتلا شدند زنده ماندند، اما بسیاری از آن‌ها دچار مشکلات جدی و طولانی‌مدت سلامتی شدند؛ مشکلاتی با تنوعی گیج‌کننده، از آسیب مغزی تا لخته‌شدن خون و از خستگی مداوم تا مشکلات قلبی.

همه‌گیری کرونا به‌شکلی هولناک به ما یادآوری کرد که چه درک اندکی از بدن‌های خود داریم و اینکه چطور بدن‌های ما آماج حمله‌های غیرمنتظرهٔ سرنوشت می‌شوند. ازطرفی، ما از همان ابتدا همه‌چیز را دربارهٔ سندروم حاد تنفسی ویروس کرونا[1] که مسئول همهٔ این رویدادها بود می‌دانستیم. به‌محض آنکه ویروس پس از ظهور در ووهان چین شناسایی شد، ژنوم آن که رشتهٔ نسبتاً کوتاهی از RNA است، توالی‌یابی شد و مولکول‌های پروتئینی شناسایی شدند که این ژنوم آن‌ها را رمزگذاری می‌کند. (ژن‌های ویروس کرونا مانند بسیاری دیگر از ویروس‌ها در مولکول RNA قرار دارد، نه در مولکول DNA که خیلی شبیه آن است و ساختار ژنتیکی تمام موجودات سلولی از باکتری‌ها تا انسان‌هاست). ما خیلی زود جزئیات چگونگی حمله و ورود ویروس به سلول‌های انسانی را در مقیاس مولکولی کشف کردیم و متوجه شدیم در این فرایند پروتئین معروف به «اسپایک» روی سطح ویروس به پروتئینی به نام ACE_2 به سطح سلول‌های انسانی متصل می‌شود.

بخش سخت کار آن بود که بفهمیم بعد از این چه اتفاقی می‌افتد. گاهی ممکن بود ویروس بدن فرد آلوده را به فعالیت بیش‌ازحد دستگاه ایمنی وادار کند و به ریه‌ها و توانایی جذب اکسیژن آسیب بزند. گاهی هم عفونت هیچ‌گونه علائمی ایجاد نمی‌کرد. ما دقیق نمی‌دانستیم «آسیب‌پذیرها» واقعاً چه کسانی هستند. تمام آنچه می‌دانستیم داده‌های آماری خام دربارهٔ تأثیر سن و بیماری زمینه‌ای افراد بود و این یکی از دلایل متعددی بود که باعث می‌شد ایدهٔ بحث‌برانگیز «حفاظت متمرکز»[2] به‌عنوان راهبرد همه‌گیری بی‌معنا باشد. ایدهٔ حفاظت متمرکز یا همان «ایمنی گله‌ای»[3] یعنی افراد آسیب‌پذیر را جدا و از آن‌ها حفاظت کنیم و درعین‌حال اجازه دهیم ویروس به افرادی منتقل شود که احتمال آسیب شدید در آن‌ها کم است تا وقتی ایمنی جمعی حاصل شود.

باوجوداین، توانستیم با سرعتی بی‌سابقه واکسن‌هایی بسازیم که در محافظت از بیشتر افراد در برابر مخرب‌ترین آثار ویروس فوق‌العاده عمل کردند. ما می‌دانستیم چگونه با استفاده از قطعات بی‌خطر پروتئین ویروس یا قطعات RNA رمزکنندهٔ آن‌ها، دستگاه ایمنی بدن

1. SARS-CoV-2
2. focused protection
3. herd immunity

خودمـان را وادار بـه تولیـد پادتن‌هایـی کنیـم کـه بـه ویروس متصل شـوند و مانـع عملکرد آن شوند یا آن را برای تخریب علامت‌گذاری کنند.

در اینجـا نیـز پیامدهـا پیش‌بینی‌ناپذیـر بودنـد. بیشـتر افـرادی کـه دو دوز واکسـن دریافـت کـرده بودنـد، پـس از آلوده‌شـدن بـه ویروس فقط دچـار بیماری خفیف می‌شـدند. (چرا دو دوز لازم بـود، نـه یـک دوز یـا ده دوز؟ مـا هنـوز واقعـاً نمی‌دانیم.) اما درصد کمی از افراد بدشـانس باوجود دریافت واکسـن به‌شـدت بیمار شـدند یا حتی بر اثر ابتلا به بیماری کرونا جان باختند. درعین‌حـال، در میـان میلیون‌هـا نفری که واکسـن دریافـت کرده بودند، اکثریـت قریب‌به‌اتفاق فقط برای یک یا دو روز احسـاس خسـتگی یا بیماری کردند؛ وضعیتی شـبیه به سـرماخوردگی خفیـف. بسـیاری هـم هیچ‌گونه عـوارض جانبی را تجربه نکردند. اما اقلیتی بسـیارکوچک دچار عوارض جانبی ناخوشـایند شـدند، به‌ویژه لخته‌شـدن خون که می‌توانسـت زندگی‌شان را تهدید کند. احتمال بروز این عوارض بر اثر تزریق واکسـن بسـیارکم بود، بسـیارکمتر از احتمال بروز پیامدهای ناخوشـایندِ گرفتارشـدن به ویروس در افرادی که واکسـن نزده بودند. اما در نهایت فقط باید امیدوار می‌بودید که یکی از آن افراد معدود بدشانس نباشید.

ایـن واقعـاً ترکیـب عجیبـی از شـرایط اسـت. مـا تکنولوژی‌هـای قدرتمندی برای شناسـایی دشـمنان بیمـاری‌زای خـود و بـرای سـاختن دارو علیـه آن‌هـا داریم. واکسـن‌های کرونـا، به‌ویژه ازنظر سـرعت بی‌سـابقه در تولید و مراحل آزمایشـی، یکی از بزرگ‌ترین پیروزی‌های علم مدرن بـوده اسـت. بااین‌حـال، از برخـی جنبه‌ها گویا خیلی بهتر از دوران قرون‌وسـطا نیسـتیم، چراکه هنـوز بـرای یافتـن داروها (ازجمله داروهای ضد ویروس کرونا) عمدتاً به آزمون‌وخطا متوسـل می‌شـویم و باید امیدوار باشـیم که اگر به این بیماری مبتلا شـدیم، خدا یا شـانس ما را نجات دهد. چرا این‌طور است؟ چرا نمی‌توانیم بهتر عمل کنیم؟ اگر می‌توانیم ویژگی‌های زندگی را تا مقیاس اتمی رمزگشایی کنیم، چه‌چیزی را از قلم انداخته‌ایم؟

تاریخچهٔ مختصر حیات

در دوران باسـتان، مـردم بـرای درک حیـات بـه اسـتعاره‌ها متکی نبودنـد. بیشـتر اوقـات، خـودِ حیـات را به‌منزلـهٔ اسـتعاره‌ای بـرای درک جهـان بـه کار می‌بردنـد. بـه نظر می‌رسـید زندگی محور سازمان‌دهندهٔ کائنات باشد.

اما این پرسـش که خودِ حیات چیسـت، تقریباً شـبیه این بود که بپرسـیم عناصر بنیادین مثل آب و باد و این‌ها چه هسـتند. حیات یک ویژگی بنیادی بود، نه چیزی که بتوان آن را به

اجزای سازنده تجزیه کرد. ازنظر ارسطو، زنده‌بودن موجودات زنده نتیجهٔ رسوخ روح (پسیخه)[1] در آن‌ها بود. این دیدگاه را نباید با مفهوم روح در مسیحیت اشتباه گرفت، هرچند بعدها اشتباه گرفته شد؛ روح در نگاه ارسطو نوعی توانایی ذاتی برای عمل‌کردن بود. پسیخه خود هیچ‌گونه ماده یا ماهیت مستقل نداشت، اما از بدن جدایی‌ناپذیر و بخشی از ذات بدن‌های زنده بود. ارسطو معتقد بود روحِ بدن زنده قابلیت‌های مختلفی مانند رشد و تغذیه، حرکت و ادراک یا عقل به آن می‌بخشد. انواع مختلف بدن‌های زنده درجات متفاوتی از روح دارند: گیاهان با داشتن روح گیاهی فقط قادر به رشد و تغذیه هستند، حیوانات روح حساس دارند که به آن‌ها امکان حرکت و حس‌کردن نیز می‌دهد، اما تنها انسان‌ها روح عقلانی دارند که علاوه‌بر توانایی‌های قبلی، به آن‌ها قوهٔ تعقل و تفکر نیز می‌بخشد.

در قرن هفدهم، با ظهور دیدگاه مکانیکی جهان، یعنی این نگرش که همهٔ طبیعت را می‌توان براساس نیروهای مؤثر بر ذرات در حال حرکت فهمید، مفهوم «زندگی همچون نوعی ماشین» پدید آمد. قوانین حرکت نیوتن که در سال ۱۶۸۷ در رسالهٔ دوران‌ساز او با نام *اصول ریاضیات فلسفهٔ طبیعی*[2] مطرح شد، این فلسفهٔ مکانیکی را به اوج خود رساند، اما دیدگاه کائنات در حکم یک ماشین پیش از آن نیز تا حد زیادی جا افتاده بود. رنه دکارت در کتاب *گفتار در روش*[3] دیدگاهی دربارهٔ بدن انسان مطرح کرد که آن را مکانیسمی شگفت‌انگیز از پمپ‌ها، دمنده‌ها، اهرم‌ها و کابل‌ها توصیف می‌کرد. همهٔ این اجزا را روح عقلانی که موهبتی الهی است به حرکت درمی‌آورد. این روح در بدن جای دارد، اما برخلاف دیدگاه ارسطو، به میزبان فیزیکی خود وابسته نیست، چراکه انکار جاودانگی روح گناهی بزرگ به شمار می‌رفت. دکارت این دیدگاه مکانیکی از بدن انسان را در *رساله‌ای دربارهٔ انسان*[4] بسط داد که نگارش آن را در دههٔ ۱۶۳۰ آغاز کرده بود، اما با مشاهدهٔ پیامدهای پافشاری گالیله بر ایده‌های فلسفی که ممکن بود با کتاب مقدس در تضاد باشد، رهایش کرد. این رساله پس از مرگ او در سال ۱۶۶۲ منتشر شد.

ژولین آفره دو لا متری[5]، پزشک فرانسوی، تصویر مکانیکی از موجودات زنده را بیشتر گسترش داد. او در کتاب *تاریخ طبیعی روح*[6] نیاز به روح را از اساس انکار کرده است و می‌گوید حیات ویژگی ذاتی بدن زنده است، نه نیرویی ماورایی که اجزا را به حرکت درمی‌آورد.

---

1. psyche
2. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*
3. *Discourse on the Method*
4. *Treatise on Man*
5. Julien Offray de La Mettrie
6. *Natural History of the Soul*

بعدها نوشت بدن انسان «ماشینی است که فنرهای خود را می‌پیچاند». روح در اصل نوعی ویژگی پدیدارشونده[1] از پیچیدگی سازمان‌دهی بدن ماست؛ حاصل‌جمع تحریک‌پذیری بنیادین بافت‌های فیبری بدن. این کتاب را کفرآمیز تلقی کردند و لا متری مجبور شد از پاریس به لیدن فرار کند. در لیدن، در سال ۱۷۴۷ دفاعی از دیدگاه مکانیکی حیات را در کتاب *انسان، یک ماشین*[2] منتشر کرد که حتی از نظریاتش در کتاب قبلی تندتر بود. او در این کتاب انسان‌ها را «ماشین‌های خزندهٔ عمودی» که نوعی حیوان هستند معرفی کرد. به‌گفتهٔ او، آنچه ما را متمایز می‌کند، پیچیدگی عظیم در چینش الیاف تحریک‌پذیر ماست.

کتاب‌های لا متری او را به دردسر انداخت، اما در این مرحله از عصر روشنگری، کلیسا دیگر در برابر قدرت فزایندهٔ علم برای سخن‌گفتن از ماهیت مادهٔ ارگانیک و زنده به نبردی تدافعی و واپس‌گرایانه روی آورده بود. تا اواخر قرن هجدهم، شیمی‌دان‌هایی مانند آنتوان لاوازیه[3] در فرانسه مادهٔ زنده را به‌معنای واقعی تحلیل می‌کردند؛ یعنی تجزیهٔ آن به اجزای تشکیل‌دهنده‌اش و مطالعهٔ اصول شیمیایی مانند تنفس که زندگی به آن وابسته است.

بااین‌حال همچنان این پرسش وجود داشت که چه‌چیزی یک موجود زندهٔ برپایهٔ کربن را از یک تکه الماس متمایز می‌کند، باتوجه به اینکه از سوختن هر دو گاز دی‌اکسید کربن حاصل می‌شود (همان‌طور که اکنون می‌دانیم). برخی گمان می‌کردند که تفاوت فقط مادی است؛ یعنی نوعی مادهٔ خاص وجود دارد که به‌دلیل ترکیب شیمیایی‌اش ذاتاً زنده است. طبیعت‌شناس فرانسوی، ژرژ-لوئی لوکلرک، کنت د بوفون[4]، نوعی ماده به نام «ماتریو ویو»[5] یا مادهٔ زنده را فرض کرد که از «مولکول‌های فعال» تشکیل شده و این مولکول‌ها تمایل ذاتی به حرکت دارند؛ نوعی «حیات کوچک» که «ابتدایی و ظاهراً تخریب‌ناپذیر» است. در این صورت، حیات موجودات زنده نتیجهٔ «تمامی کنش‌ها و زندگی‌های کوچک جداگانه» است. این مولکول‌های زنده همچنین نوعی عقل ابتدایی دارند که عقل حیوانات از آن پدید می‌آید.[6] این دیدگاه اَتُمیزه[7] به حیات را که می‌توان آن را مجموع اجزای مولکولی آن دانست، دنی

---

1. emergent property
2. *L'homme machine (Man, a Machine)*
3. Antoine Lavoisier
4. George-Louis Leclerc, Comte de Buffon
5. matière vive

۶. فیلسوف فرانسوی، پیر لویی موپرتوئی (Pierre Louis Maupertuis)، پا را فراتر گذاشت و به این «اتم‌های زیستی»، تمایلات روانی مانند میل و حافظه نسبت داد. شاید این کاملاً خیالی به نظر برسد، اما همان‌طور که خواهیم دید، این امکان وجود دارد که چنین ویژگی‌هایی را بتوان با یک تعبیر مدرن در سلول‌های زنده تشخیص داد.

7. atomized

دیدرو[1]، بزرگ‌ترین گردآورندهٔ دیدگاه‌های روشنگری، مطرح کرد. او حدس می‌زد که چگونه انبوهی از چنین نقاط زنده‌ای[2] می‌توانند «نوعی یکپارچگی که تنها در یک حیوان وجود دارد» به وجود آورند. بدین‌ترتیب، حیات از نوعی نیروی حیاتی[3] شکل می‌گیرد که اجزای آن را به حرکت وامی‌دارد.

در اواخر قرن هجدهم، جراحی اسکاتلندی به نام جان هانتر[4] نیز مفهوم بوفون از نوعی مادهٔ زندهٔ[5] ابتدایی را پذیرفت. او آن را با اصطلاحی لاتین[6] به رسمیت شناخت، بدون اینکه پرتوی جدیدی بر ماهیت آن بیفکند. اما در سال ۱۸۳۵، کالبدشناس فرانسوی، فلیکس دوژاردن[7]، ادعا کرد که چیزی از این جنس را شناسایی کرده است: ماده‌ای ژلاتینی که از پیکر جانداران میکروسکوپی استخراج شده بود و آن را «سارکود»[8] نامید. این ماده بعدها به «پروتوپلاسم» تغییر نام داد و زیست‌شناس اتریشی، فرانز اونگر[9]، گفت ممکن است نوعی مادهٔ آلی به نام «پروتئین» باشد که آن زمان فقط به‌عنوان ماده‌ای آلی غنی از نیتروژن و مشترک در همهٔ موجودات زنده شناخته می‌شد. در دههٔ ۱۸۵۰، زیست‌شناس انگلیسی، توماس هنری هاکسلی[10]، ادعا کرد که پروتوپلاسم یا همان «مبنای فیزیکی حیات»[11] را از رسوباتی جدا کرده است که از کف دریا استخراج شده بود؛ رسوباتی حاوی کربن، نیتروژن، اکسیژن و هیدروژن. او با ابهام گفت ویژگی زنده‌بودن این ماده ناشی از «ماهیت و چینش مولکول‌هایش» است. البته در واقع پروتوپلاسم هاکسلی، برخلاف انتظارش، چیزی نبود جز ژلی که حاصل واکنش شیمیایی میان آب دریا و الکلی بود که به‌عنوان نگهدارنده برای مواد آلی در رسوبات استفاده می‌شد.

ایدهٔ «نیروی حیاتی» در حقیقت پاسخی به معمای حیات نبود. بلکه یک همان‌گویی[12] بود که فقط سؤال را تغییر می‌داد: موجودات زنده‌اند، زیرا اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها زنده‌اند.

---

1. Denis Diderot
2. living points
3. vital force
4. John Hunter
5. living matter
6. materia vitae
7. Felix Dujardin
8. sarcode
9. Franz Unger
10. Thomas Henry Huxley
11. physical basis of life
12. tautology

پس نیروی حیاتی از کجا می‌آید؟ در اوایل قرن نوزدهم، برخی دانشمندان گمان می‌کردند شاید این نیرو ماهیتی الکتریکی داشته باشد، چراکه برق آزادشده از دستگاه‌های ذخیره‌سازی به نام بطری‌های لایدن می‌توانست طوری اعضای قطع‌شده یا بدن‌های مردهٔ حیوانات را تکان دهد که گویی جانی در آن‌ها دمیده است. به‌هرحال، شیمی‌دانان قرن نوزدهم با نشان‌دادن وجود پیوستگی میان ترکیب شیمیایی «مواد آلی» که از موجودات زنده به دست آمده و مواد غیرآلی مانند نمک‌ها و گازها، این باور را تضعیف کردند که نوعی مادهٔ متمایز وجود دارد که ذاتاً زنده است.

در سال ۱۸۱۲، شیمی‌دان بزرگ سوئدی، یونس یاکوب برزیلیوس[1]، این ایده را رد کرد که زندگی می‌تواند با نوعی نیروی حیاتی مرموز موجود در ماده به‌واسطهٔ ترکیب آن توضیح داده شود. او نوشت: «اجزای تشکیل‌دهندهٔ بدن حیوانی کاملاً همانند اجزایی هستند که در مواد بی‌سازمان یافت می‌شوند و پس از مرگ رفته‌رفته به وضعیت اصلی غیرآلی خود بازمی‌گردند.» او از رسیدن به پاسخ نهایی این معما ناامید بود و گفت: «علت بیشتر پدیده‌های موجود در بدن حیوانی چنان از دید ما پنهان است که مطمئناً هیچ‌گاه پیدا نخواهد شد.» او باور داشت: «زنجیرهٔ تجربهٔ ما همیشه باید به چیزی تصورناپذیر ختم شود؛ متأسفانه همین چیز تصورناپذیر نقش اصلی را در شیمی حیوانی دارد.»

بااین‌حال برزیلیوس مفهومی سودمند نیز اضافه کرد. به‌جای آنکه فرض کنیم نیرویی «حیاتی» وجود دارد، کلمه‌ای که هیچ معنایی را نمی‌توانیم به آن نسبت دهیم، باید بپذیریم که «نه این نیروی حیات به اجزای تشکیل‌دهندهٔ بدن ما تعلق دارد، نه آن اجزا آن را مانند ابزاری در اختیار دارند و نه نیرویی ساده است؛ بلکه نتیجهٔ عمل متقابل ابزارها و اجزای سازنده بر یکدیگر است». به بیان دیگر، مسئله این نیست که مولکول‌ها چیستند، بلکه این است که چه می‌کنند و به‌ویژه به‌شکل جمعی چه می‌کنند.

در این صورت، پرسش دربارهٔ حیات به مسئله‌ای دربارهٔ چگونگی سازمان‌دهی اجزای آن تبدیل می‌شود. مسئلهٔ سازمان‌دهی در طول قرن نوزدهم بیش از پیش در کانون توجه قرار گرفت، چون روش‌های میکروسکوپی آن‌قدر پیشرفت کرد که محققان توانستند موجودات زنده را در سطحی پایین‌تر از سلول نیز بررسی کنند.[2] این ایده را که تمام اشکال حیات از سلول تشکیل شده است، تئودور شووان[3]، زیست‌شناس آلمانی، در دههٔ ۱۸۳۰ مطرح کرد و

1. Jöns Jakob Berzelius

۲. امانوئل کانت احتمالاً اولین کسی بوده که گفته حیات خودسازمان‌ده است؛ روشی کاملاً مدرن برای بیان این موضوع.

3. Theodor Schwann

در سال ۱۸۳۹ نوشت: «اصلی جهانی برای پدیدآمدن اجزای ابتدایی موجودات زنده وجود دارد و آن اصل در شکل‌گیری سلول‌هاست.»[۱] همکار شووان، گیاه‌شناسی به نام متیاس یاکوب اشلایدن[۲] (این دو در آزمایشگاه فیزیولوژیستی به نام یوهانس مولر[۳] در برلین کار می‌کردند)، بر این باور بود که سلول‌ها خودبه‌خود در موجودات پدید می‌آیند. اما رابرت رماک[۴]، یکی دیگر از دانشجویان مولر، نشان داد که سلول‌ها از تقسیم سلول‌های قبلی پدید می‌آیند. این مفهوم را یکی دیگر از شاگردان مولر به نام رودولف ویرشو[۵] بسط داد و این گزارهٔ معروف را مطرح کرد که «همهٔ سلول‌ها از سلول‌ها پدید می‌آیند.»[۶] ازنظر ویرشو، بافت‌ها و ارگانیسم‌های پیچیده مجموعه‌ای از این واحدهای بنیادی حیات هستند که خودشان نوعی «ارگانیسم ابتدایی»[۷] به شمار می‌روند.

اواخر آن قرن، مطالعات میکروسکوپی سلول‌ها نشان داد که آن‌ها صرفاً توده‌هایی از ماده‌ای شبیه به پروتوپلاسم بی‌شکل نیستند، بلکه سازمان داخلی خاصی دارند که به‌صورت توده‌های تیره، رشته‌ها و دیگر ساختارهایی دیده می‌شوند که با رنگ‌آمیزی سلولی بهتر می‌توان این اجزا را آشکار کرد. در سال ۱۸۹۸، ذرات کوچکی که «میتوکندری»[۸] نامیده شدند، غشاهای اسفنج‌مانند و اجسام رشته‌ای یا «کروموزوم‌ها» مشاهده شدند؛ واژهٔ کروموزوم به‌معنای «جسم رنگی»[۹] است و به توانایی آن‌ها در جذب رنگ اشاره دارد. هنوز مشخص نبود که این سازمان داخلی به چه کاری می‌آید، اما روشن بود که سلول‌ها اجزا و بخش‌های مختلفی دارند و برای درک نحوهٔ عملکرد آن‌ها قطعاً لازم بود این ساختارها را با جزئیات بیشتری توصیف کنیم. این کار دشوار بود، زیرا آن‌ها بسیار کوچک، فراوان و گوناگون بودند. زیست‌شناسان سلولی می‌توانستند تغییراتی را مشاهده کنند که در سازمان داخلی سلول‌ها طی چرخهٔ تقسیم پدید می‌آمد. اما درک علت‌ها و اهمیت این تحولات موضوع دیگری بود. همان‌طور که کلود برنارد[۱۰]، فیزیولوژیست فرانسوی، در سال ۱۸۷۸ گفت، تنها کاری که می‌توانیم انجام دهیم این

---

۱. پیر ژان فرانسوا توروین (Pierre Jean Francois Turpin)، گیاه‌شناس فرانسوی، نیز به‌خاطر طرح این ایده شایستهٔ تقدیر است، زیرا در سال ۱۸۲۶ نوشت که سلول‌های گیاهی یا مانند جلبک‌ها به‌صورت منفرد وجود دارند یا «باهم متحد می‌شوند و توده‌های بزرگ یا کوچکی را تشکیل می‌دهند تا گیاهی بسیار سازمان‌یافته‌تر بسازند.»

2. Matthias Jakob Schleiden
3. Johannes Müller
4. Robert Remak
5. Rudolf Virchow
6. omnis cellula e cellula: all cells come from cells
7. elementary organism
8. mitochondria
9. colored body
10. Claude Bernard

است که «واقعیت‌های نزدیک به خود را مشاهده کنیم و گام‌به‌گام پیش برویم تا در نهایت به درکی قطعی از این پدیده‌های بنیادی برسیم.»

اما جمع‌آوری داده‌ها کافی نیست؛ ما باید اصول کلی را درک کنیم. در اوایل قرن بیستم، واژهٔ «سازمان»[1] چنان به کار می‌رفت که گویی تعبیری کلی و مبهم برای نامیدن بخش‌هایی از حیات است که حتی در سطح کلی هم به‌خوبی درک نشده بودند. ادموند بیچر ویلسون[2]، زیست‌شناس سلولی آمریکایی، در سال ۱۹۲۳ نوشت: «ما همیشه واژهٔ سازمان را مانند ابزاری جادویی به کار می‌بریم، به‌منزلهٔ نامی برای آنچه اصول یکپارچه‌سازی فرایندهای حیاتی را تشکیل می‌دهد.» این الگویی رایج در زیست‌شناسی است که با اصطلاحاتی مانند روح، نیروی حیاتی و پروتوپلاسم آغاز شد و همان‌طور که خواهیم دید، با ارجاع به مفاهیمی مانند نقش و تنظیم بیان ژن‌ها ادامه یافته است. این اصطلاحات به عوامل و فرایندهایی اشاره دارند که ناقص درک شده‌اند. اما این ایراد علم نیست، بلکه ابزاری ضروری برای مقابله با پیچیدگی شگفت‌آور حیات است. داشتن مفهومی مبهم که مانند پلی برای عبور از خلأ جهل عمل کند بهتر از آن است که با دل‌سردی در آستانهٔ نادانی توقف کنیم.

ارزش‌ها و خطرهای استعاره

دانشمندان زیست‌شناسی همواره در جبهه‌های مختلف تلاش می‌کنند تا بفهمند حیات چگونه کار می‌کند. برخی آن را در مقیاس سلول مطالعه می‌کنند، یعنی با شناسایی تمام اجزای دارای اسامی عجیب و کارکردهایشان: هسته، میتوکندری، دستگاه گلژی و شبکهٔ اندوپلاسمی. از سوی دیگر، زیست‌شناسان تکوینی سعی می‌کنند بفهمند در فرایند تبدیل تخمک بارورشده به رویان، سلول‌ها چگونه رشد می‌کنند و تخصص می‌یابند و بافت‌هایی با شکل‌ها و موقعیت‌های خاص پدید می‌آورند. همان‌طور که در اوایل قرن بیستم برخی زیست‌شناسان با سازمان‌یافتگی سلول دست‌وپنجه نرم می‌کردند، گروهی دیگر می‌کوشیدند تا اصول وراثت و ارتباط آن با اجزایی به نام ژن را درک کنند و همچنین چگونگی ارتباط این فرایندها با «زنجیرهٔ بزرگ موجودات» در نظریهٔ تکامل داروین ازطریق انتخاب طبیعی را شناسایی کنند. گروهی دیگر نیز از دیدگاه شیمی‌دانان به حیات می‌نگریستند و ماهیت مولکولی آن را بررسی می‌کردند، به‌ویژه تحولات بیوشیمیایی مرتبط با متابولیسم و نقش و ماهیت مولکول‌هایی به نام آنزیم‌ها که از پروتئین ساخته شده‌اند و برای این واکنش‌ها نقش کاتالیزگر را دارند.

---

1. organization
2. Edmund Beecher Wilson

هریک از این حوزه‌ها بسیار دشوار بوده و هست و نیاز به دانش عمیق و تخصصی دارد، طوری که زیست‌شناسان فعال در یک حوزه ممکن است متوجه شوند دایرهٔ واژگان مشترکی با دیگر حوزه‌ها ندارند یا بدتر از آن، واژه‌های یکسانی برای بیان منظورهای متفاوت به کار می‌برند. آن‌ها لزوماً بر سر اینکه کدام پرسش‌ها دربارهٔ چگونگی کارکرد حیات مهم‌ترند هم‌نظر نیستند.

بااین‌حال، نقطهٔ اشتراک همهٔ این حوزه‌ها اتکای شدید به استعاره است. این موضوع تا حدی در مورد همهٔ علوم صادق است؛ در واقع، دربارهٔ تمام زبان‌ها و حتی همهٔ اندیشه‌ها. اما شاید زیست‌شناسی بیش از دیگر علوم به استعاره نیاز دارد، به‌ویژه به این دلیل که درک و بیانِ اصول آن بسیار دشوار به نظر می‌رسد. استعاره‌های محبوب با گذر زمان تغییر می‌کنند، اما این تغییر فقط به‌معنای جایگزینی یکی با دیگری نیست؛ موضوعی که کمتر به آن توجه می‌شود. مفهوم حیات‌گرایی ممکن است به روح در معنای ارسطویی آن بازگردد که امروزه به‌کلی در زیست‌شناسی منسوخ به شمار می‌آید، اما در حقیقت خواهیم دید که این مفهوم هنوز به اشکال رمزآلودی زنده است؛ به‌ویژه از این طریق که ممکن است ناخودآگاه به مولکول‌های زیستی و دیگر اجزای تشکیل‌دهندهٔ حیات نوعی عاملیت نسبت داده شود که واقعاً ندارند. استعارهٔ مکانیکی دکارتی هنوز زنده و پابرجاست؛ زیست‌شناسان معمولاً از «دستگاه‌های مولکولی» مانند آنزیم‌ها صحبت می‌کنند و برای این کار دلایل خوبی دارند. اما چنین کاربردهای زبانی ممکن است به دیدگاه‌های واقعی تبدیل شوند، طوری که ممکن است تصور کنیم ساختارهای زیستی میکروسکوپی مانند دنده‌ها و موتورهای دستگاه‌های فناورانهٔ ما کار می‌کنند. این دیدگاه همان‌طور که خواهیم دید، ممکن است بسیار گمراه‌کننده باشد.

در این میان، استعارهٔ سازمان سلول‌ها مشاهده می‌شود که آن‌ها را معمولاً کارخانه‌های کوچکی توصیف می‌کند و مولکول‌های زیستی کارگرانی هستند که برای تولید محصولات مولکولی بسیار دقیق باهم همکاری می‌کنند. برای ساختن این محصولات از انرژی تولیدشده در نیروگاه‌هایی به نام میتوکندری استفاده می‌شود و زباله‌هایی ایجاد می‌شود که باید دفع یا بازیافت شوند. به این استعاره‌های قدیمی در نیمهٔ دوم قرن بیستم استعاره‌ای دیگر نیز افزوده شد: اطلاعات. در عصر کامپیوترهای دیجیتال، زیست‌شناسان متقاعد شدند که حیات نوعی عملیات ریاضی است؛ الگوریتمی که توسط کدی دیجیتال از دستورالعمل‌ها در نوار ذخیره‌سازی DNA حک شده است. فرانسوا ژاکوب در سال ۱۹۷۰ گفت: «امروز موجودات زنده جایگاهی برای جریان سه‌گانهٔ ماده، انرژی و اطلاعات در نظر گرفته می‌شوند.» او ادعا کرد به‌ندرت پیش می‌آید استعاره‌ای که یک دورهٔ تکنولوژیکی خاص تحمیل کرده است این‌چنین مناسب باشد.

همهٔ این استعاره‌ها کاربردهای خاص خود را دارند، چون برپایهٔ دلایلی مناسب ساخته شده‌اند و من گاهی آن‌ها را به کار خواهم برد. اما این ضرب‌المثل قدیمی که می‌گوید در کاربست استعاره همیشه باید مراقب بود، بیش از هر مقوله‌ای در تلاش برای درک حیات صادق است. استعاره‌ها در زیست‌شناسی تمایل خطرناکی برای تبدیل‌شدن به «توضیح» دارند و حتی ممکن است متخصصان نیز نمایش‌های شماتیک از یافته‌های آزمایشی، مثلاً چگونگی برهم‌کنش مجموعه‌ای از مولکول‌ها باهم، را تصاویر واقعی از آنچه اتفاق می‌افتد برداشت کنند. یکی از پیام‌های اساسی این کتاب آن است که ما نمی‌توانیم ازطریق تشبیه به هر تکنولوژی‌ای که انسان اختراع کرده است یا مقایسهٔ استعاری با آن‌ها، به‌درستی درک کنیم حیات چگونه کار می‌کند. چنین تشبیه‌هایی ممکن است نقطهٔ شروعی برای درک ما فراهم کنند، اما در نهایت ناکافی خواهند بود و اگر نتوانیم تشخیص دهیم چه زمانی باید آن‌ها را رها کنیم، درک ما را محدود و حتی گمراهمان می‌کنند. به‌گفتهٔ زیست‌شناس تکوینی، جیمی دیویس[1]، برای درک واقعی چگونگی رشد یک رویان «باید آماده باشیم از استعاره‌های ساده و روزمره که به نحوهٔ ساختن چیزها اشاره دارند فراتر برویم و رویان را در وضعیت واقعی آن ببینیم.» یک تفاوت واضح اما بسیار عمیق بین حیات و ماشین‌ها این است که حیات یا باید پیوسته حفظ شود یا برای همیشه تمام می‌شود؛ نمی‌توان آن را خاموش و دوباره روشن کرد.

مقایسهٔ حیات با ماشین، ربات یا کامپیوتر، توصیفی بسیار ناقص و تقلیل‌گرایانه از آن است. دشواری درک حیات دقیقاً به این دلیل است که شبیه هیچ‌یک از این چیزهایی نیست که ما ساخته‌ایم. وقتی محدودیت‌های استعاره را فراموش می‌کنیم، دانشمان دچار خطا و کاربردهایش ناکارآمد می‌شود. برای مثال، ممکن است به‌دنبال مداخلات پزشکی نامناسب یا بی‌اثر باشیم. مشکل اساسی استعارهٔ ماشین برای حیات، که در استعارهٔ «مدار الکترونیکی» نیز صدق می‌کند، آن است که ما را مجبور می‌کند بخش‌های مختلف را چیزهایی با عملکرد مشخص ببینیم. ما بخشی خاص را برمی‌داریم و می‌پرسیم این قسمت چه نقشی دارد.

اما همان‌طورکه خواهیم دید، این پرسش ممکن است در مورد برخی اجزای تشکیل‌دهندهٔ موجودات زنده (مانند پروتئین‌ها) معنادار نباشد. البته تنها دلیلش این نیست که نقش یک جزء به زمینهٔ فعالیت آن بستگی دارد (که می‌تواند در مورد قطعات ماشین نیز صادق باشد)، بلکه کل مفهوم «نقش» و مکانیزمی که نقش در آن اجرا می‌شود مبهم است. رابرت روزنِ[2]

1. Jamie Davies
2. Robert Rosen

زیست‌شناس در سال ۱۹۹۱ این رویکرد مرسوم فروکاستن حیات به اجزای آن را به‌خوبی خلاصه کرد. او گفت این رویکرد به آن معناست که ما می‌توانیم (و در واقع باید) «سازمان را کنار بگذاریم و مادهٔ زیربنایی را نگه داریم» (به کادر ۱-۱ مراجعه کنید). روزن مدعی بود که زیست‌شناسی مولکولی در نتیجهٔ چنین رویکردی، از هر تلاشی برای توضیح‌دادن دست کشیده و در عوض فقط به توصیف یا ایستادن و نظاره‌کردن بسنده کرده است. به‌گفتهٔ او، چیزی که توصیف می‌شود، بسیار ایستا، آرمانی و بی‌جسم است، هیچ پویایی یا حرکتی وجود ندارد، هیچ افت‌وخیزی نیست و هیچ سازمان‌دهی‌ای در فضا احساس نمی‌شود. استعارهٔ ماشین، به‌گفتهٔ روزن، آن‌قدر جا افتاده بود که گمانه‌زنی دربارهٔ آن تقریباً تابو شده بود و ممکن بود کاری غیرعلمی یا مابعدالطبیعه فرض شود. او نوشت: «هر پیشنهادی خلاف این غیرعلمی تلقی می‌شد و بسیار خصمانه با آن رفتار می‌شد، گویی کوششی برای بازگرداندن زیست‌شناسی به مابعدالطبیعه بود.» زمان آن رسیده است که از چنین پیش‌داوری‌هایی دست برداریم.

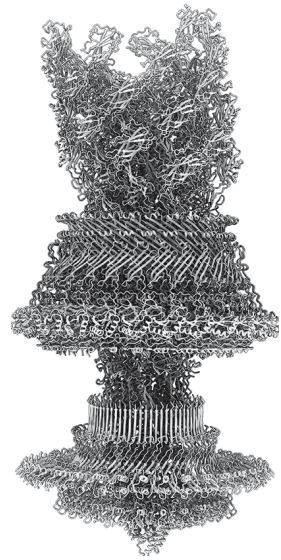
آیا ماشین‌ها اصلاً «ماشین» هستند؟

شاید این دیدگاه به‌معنای رهاکردن پیش‌داوری‌ها دربارهٔ خود ماشین‌ها نیز باشد. حقیقت آن است که حتی ماشین‌ها هم دیگر مانند قبل نیستند. معمولاً هدف از کاربرد استعارهٔ ماشین در زیست‌شناسی ایجاد تصاویری از مکانیسم‌ها یا ربات‌هایی با قطعات متحرک است که به سیگنال‌های ورودی به‌صورت مشخص، قطعی و شفاف واکنش نشان می‌دهند: در ساده‌ترین شکل، سیستم‌هایی ساخته‌شده از چرخ‌دنده‌ها و اهرم‌ها. این تصویر بسیار گمراه‌کننده است. در سال‌های اخیر، مقایسه با مدارهای الکترونیکی مطرح شده است؛ مثلاً سیگنال‌های الکتریکی ازطریق سوئیچ‌ها و اتصالاتی در مسیر کانال‌ها هدایت می‌شوند که مهندسان الکترونیک بادقت آن‌ها را طراحی کرده و چیده‌اند. این هم استعارهٔ ضعیفی است. تا وقتی اصرار داریم سلول‌ها را کامپیوتر و ژن‌ها را کد آن‌ها بدانیم و پروتئین‌ها را ماشین و اندامک‌ها را کارخانه تصور کنیم، تصویری که به دست می‌آید ترکیب ناجوری از مکانیک و انسان‌گونه‌سازی[1] است. در این دیدگاه، حیات به فرایندی اطلاعاتی تبدیل می‌شود که به جادوی نامرئی آغشته شده است.

حالا من قطعاً می‌پذیرم که حتی دیدگاه سنتی ماشین نیز برای برخی ساختارهای زیستی مناسب به نظر می‌رسد. برای مثال، موتور تاژک باکتریایی را در نظر بگیرید که مجموعه‌ای از مولکول‌های پروتئینی در غشای سلولی باکتری‌هاست که باعث می‌شود تاژک‌های شلاق‌مانند

1. anthropomorphic

آن بچرخند و باکتری را به‌شکل مارپیچی در آب حرکت دهند (شکل ۱-۱). مجموعه‌های مولکولی مانند این واقعاً ما را مبهوت توانایی طبیعت در خلق انواع ساختارها و دستگاه‌ها می‌کنند. این ساختارها به توضیح اینکه چرا پروتئین‌ها معمولاً ماشین‌های مولکولی توصیف می‌شوند نیز کمک می‌کنند. چه‌چیزی بیشتر از محوری که برای چرخیدن درون یک استوانهٔ محدودکننده ساخته شده، یادآور دستگاه‌های تکنولوژیکی خودمان است؟



شکل ۱-۱ تصویر ساختار موتور تاژک باکتریایی که محققان دانشگاه ژجیانگ در چین با تکنیک میکروسکوپ الکترونی کرایو (فصل چهار) تهیه کرده‌اند. با سپاس از زینگ ژانگ و یونگ‌کان ژو از دانشگاه ژجیان برای تصویر؛ به تان و همکاران (۲۰۲۱) مراجعه کنید.

بروس آلبِرتس[1] زیست‌شناس در سال ۱۹۹۸ استعارهٔ ماشین برای مولکول‌های زیستی را در مقاله‌ای تأثیرگذار به نام «سلول به‌عنوان مجموعه‌ای از ماشین‌های پروتئینی» مطرح کرد. او نوشت: «کل سلول را می‌توان کارخانه‌ای با شبکهٔ پیچیده‌ای از خطوط تولید به‌هم‌پیوسته در نظر گرفت که هریک از آن‌ها شامل مجموعه‌ای از ماشین‌های پروتئینی بزرگ است.» بااین‌حال، حقیقت آن است که فقط تعداد کمی از ساختارهای مولکولی زیستی مثل موتور

1. Bruce Alberts

تاژک باکتری می‌توانند ازنظر ظاهری مفاهیم مکانیکی آشنا (در اینجا موتور چرخشی) در مقیاس میکروسکوپی را بازنمایی کنند. مهم‌تر از همه، نباید انتظار داشته باشیم که اصول ماشین‌آلات خودمان مستقیم با مقیاس مولکولی معادل‌سازی شود، جایی‌که نقش‌ها و حتی ماهیت پدیده‌هایی مانند ویسکوزیته، اصطکاک، سفتی و چسبندگی[1] بسیار متفاوت است. همان‌طور که فیلسوف علم، دانیل نیکولسون[2]، گفته است:

> سلول‌ها و اجزای درشت‌مولکولی، به‌دلیل اندازهٔ بسیار ریزشان، در شرایط فیزیکی کاملاً متفاوتی از اشیاء فیزیکی بزرگ‌مقیاس مانند ماشین‌ها قرار دارند و... در نتیجه، کاربرد استعارهٔ ماشین برای توضیح پدیده‌های میکروسکوپی احتمالاً بیشتر باعث ابهام و گمراهی می‌شود تا روشنگری و توضیح دقیق.

به نظرم نیکولسون درست می‌گوید. همان‌طور که خواهیم دید، مسئله فقط این نیست که استعارهٔ ماشین برای پدیده‌هایی در مقیاس مولکولی مانند ارتعاشات مولکولی و تصادفی‌بودن کاملاً دقیق نیست؛ به‌طور کلی، پروتئین‌ها و آنچه آلبرتس «خطوط تولید» می‌نامد از اصول یکسانی پیروی نمی‌کنند. به‌علاوه، موجودات زنده شبیه هیچ‌یک از ماشین‌هایی که تاکنون ساخته‌ایم کار نمی‌کنند.

مایکل لوینِ[3] زیست‌شناس و جاش بونگارد[4]، دانشمند علوم کامپیوتر، استدلال می‌کنند که ما می‌توانیم این واقعیت را از جنبهٔ دیگری ببینیم و مفهوم ماشین را بازنگری کنیم: موجودات زنده را «ماشین‌هایی که می‌توانستند باشند»[5] فرض کنیم. لوین می‌گوید: «ما حیات را گونه‌ای خاص و جالب از ماشین‌ها می‌بینیم که مجبورمان می‌کند ایده‌های محدود و قدیمی دربارهٔ چیستی ماشین‌ها و چگونگی پدیدآمدنشان را گسترش دهیم.» نباید حیات را با تصویر ماشین‌های امروزی تطبیق دهیم، اما می‌توانیم ماشین‌هایمان را با تصوری که از حیات داریم بسازیم. بنابراین شاید در آینده بتوانیم از سیستم‌های زنده برای ساخت انواع جدیدی از دستگاه‌های مصنوعی الهام بگیریم. در واقع این کار را آغاز کرده‌ایم. فناوری‌های اطلاعات امروزی تصویری مبهم‌تر از طراحی و عملکرد ایجاد می‌کنند، برای مثال با تحمل خطاها، نویزها و اشتباهات به شیوه‌هایی که صرفاً به افزونگی متکی نیستند: مثل داشتن

---

1. viscosity, friction, rigidity, and adhesion
2. Daniel Nicholson
3. Michael Levin
4. Josh Bongard
5. machines as they could be

مدارهای پشتیبان برای مدیریت خرابی‌های اجزای دستگاه. گفتن یا حتی تشخیص نحوهٔ عملکرد دستگاه‌ها روزبه‌روز سخت‌تر می‌شود.

الگوریتم‌های هوش مصنوعی که آن‌ها را با تشبیه به مغز «شبکه‌های عصبی»[1] می‌نامیم، نمونهٔ خوبی از این موضوع هستند. این شبکه‌ها کارشان را با یادگیری و آموزش انجام می‌دهند، نه براساس طراحی قبلی، یعنی از لحظه‌ای که روشن می‌شوند. سیم‌کشی آن‌ها شبیه به نورون‌های درهم‌برهم و اتصالاتشان در جمجمهٔ ماست و ما تا حدودی مانند جعبه‌های سیاه با آن‌ها رفتار کرده‌ایم: کار می‌کنند، اما دقیق نمی‌دانیم از چه قوانینی استفاده می‌کنند. همچنین گروهی از الگوریتم‌های کامپیوتری را توسعه داده‌ایم که عملکرد خود را نه با رفع دقیق خطاها، بلکه با فرایندی شبیه به تکامل بهبود می‌دهند: یعنی ایجاد تغییرات تصادفی و گزینش آن‌هایی که کار می‌کنند. عملکرد این الگوریتم‌ها نه از طراحی مبتنی بر درک عمیق، بلکه برپایهٔ آزمون‌وخطا درکنار یک فرایند انتخاب برای ارزیابی اثرات چنین تغییرات پراکنده‌ای حاصل می‌شود. اما چنین رویکردهای الهام‌گرفته از زیست‌شناسی برای طراحی کافی به نظر نمی‌رسند. برای بهبود و اعتماد به آنچه پدید می‌آید، باید از نحوهٔ عملکرد این سیستم‌ها سر دربیاوریم. من اطمینان دارم که زیست‌شناسی ما را برای رسیدن به این درک راهنمایی خواهد کرد.

برخی ممکن است استدلال کنند که «ماشین» هر موجودی است که با هدایت محرک‌های محیطی یا متأثر از آن‌ها تغییراتی ایجاد کند. بنابه تعریف، این نوع «ماشین» توصیف تقریباً معقولی از سلول‌ها و موجودات بیولوژیکی به نظر می‌آید. اما هدف من بیش از آنکه بی‌اعتبارکردن استعارهٔ ماشین باشد، پیچیده‌ترکردن آن است: اینکه مانند تمام مفاهیم رایج زیست‌شناسی راحت‌طلبانه، بیش‌ازحد یا به‌شکل گمراه‌کننده به کار نرود. مطمئن نیستم زیست‌شناسی در مورد استعاره‌هایش چندان هوشیار باشد.

حیات دقیقاً چیست؟

اینجا باید پرسشی دیوانه‌وار را مطرح کنم. دیوانه‌وار از آن نظر که هزاران سال است بسیار دربارهٔ آن بحث شده و هیچ توافقی بر سرش حاصل نشده، انتظار هم نمی‌رود که من در اینجا به آن پاسخ دهم. اما مهم است از ابتدا مطرح شود. اصلاً حیات چیست؟

معمولاً این سؤال به‌منزلهٔ درخواست مجموعه‌ای از معیارها تفسیر شده که بتوانیم براساس آن‌ها تشخیص دهیم آیا یک موجود «زنده» است یا نه: در واقع نوعی چک‌لیست.

1. neural networks

بنابراین می‌بینیم ادعاهایی مطرح می‌شود مانند اینکه حیات باید قابلیت خودتکثیری داشته باشد یا باید مطابق با فرایند تکامل داروینی باشد یا باید خودسازمان‌دهی پیچیده داشته باشد و غیره.

سپس مشکلاتی پدیدار می‌شود، زیرا متوجه می‌شویم برخی موجودات چیزهایی دارند که فکر می‌کنیم نباید داشته باشند و برخی دیگر آنچه را داشتنش به نظر ما ضروری است ندارند. این مسئله احتمالاً نتیجهٔ اجتناب‌ناپذیرِ داشتن تنها یک مجموعه از موجودات زندهٔ خویشاوند با یکدیگر است. حیات روی زمین شگفت‌انگیز و بی‌نهایت متنوع است، از انگل‌های تک‌سلولی گرفته تا فیل‌ها، اما همهٔ آن‌ها منشأ مشترک و در نتیجه ویژگی‌هایی مشترک دارند، مانند سلولی‌بودن، آب‌محوربودن، داشتن DNA و پروتئین و غیره. ما نمی‌توانیم تعیین کنیم که این ویژگی‌های مشترک چقدر بنیادی‌اند یا برعکس، محدود به جانوران خاصی هستند (به کادر ۲-۱ مراجعه کنید).[۱]

خوشبختانه اینجا مجبور نیستم تعریفی از حیات ارائه کنم یا چگونگی پیدایش آن را بررسی کنم که همان‌قدر پیچیده است. میلیاردها سال تکامل، بین ما و رازهای منشأ حیات فاصله انداخته و این زمان برای آنکه موجودات زنده را نوعی مادهٔ متفاوت از سنگ‌ها و اقیانوس‌های زمین اولیه در نظر بگیریم کافی است؛ نه براساس اجزای بنیادی تشکیل‌دهندهٔ موجودات زنده، بلکه از این نظر که چه هستند و چگونه به اینجا رسیده‌اند. مجبور نیستم حیات را تعریف کنم، چون موضوع مورد نظر من در اینجا به‌روشنی بیان شده است. بی‌گمان خود ما پیچیده‌ترین نوع موجودات هستیم، نه به این دلیل که نمایانگر اوج تکاملیم، بلکه به این دلیل که می‌توانیم از درون موقعیت عجیب حیات دربارهٔ سازوکار آن پرسشگری کنیم.

بنابراین موضوع من نحوهٔ عملکرد موجودات زنده‌ای است که می‌شناسیمشان، به‌ویژه ما انسان‌ها و دیگر موجودات پیچیدهٔ شبیه خودمان. برخی از عملکردهای بدن انسان به باکتری‌ها و دیگر موجودات تک‌سلولی تعمیم نمی‌یابند، پس قطعاً لازم نیست کنجکاو باشیم که این عملکردها در ویروس‌ها هم وجود دارند یا نه، زیرا ویروس‌ها در قلمرو مبهمی بین موجودات زنده و غیرزنده قرار دارند.

---

۱. کتاب *لبهٔ زندگی* نوشته کارل زیمر (Carl Zimmer) در سال ۲۰۲۰، یکی از جامع‌ترین و همه‌فهم‌ترین بررسی‌ها دربارهٔ کوشش‌های دانشمندان (و دیگران) برای ارائهٔ تعریفی از حیات را در اختیار می‌گذارد. شاید محتمل‌ترین تعریف، تعریفی باشد که زیمر به‌طعنه در انتهای فهرستی از جایگزین‌ها نشان می‌دهد: «حیات چیزی است که جامعهٔ علمی (احتمالاً پس از برخی اختلاف‌نظرهای سالم) آن را به‌منزلهٔ حیات می‌پذیرد.»

بااین‌حال من قصد ندارم کاملاً از پرسش بالا طفره بروم، زیرا چگونگی حیات را نمی‌توان به‌طور کامل از چرایی آن جدا کرد. در حال حاضر، در موقعیت دشواری هستم. اغلب گفته می‌شود که کار علم طرح پرسش‌های چرایی نیست، زیرا این راه یا به غایت‌گرایی می‌رسد یا به خداوند (برای بسیاری از دانشمندان مشخص نیست کدام بدتر است). استیون واینبرگ[1] فیزیک‌دان می‌نویسد: «هرچه بیشتر دربارهٔ جهان می‌فهمیم، بی‌هدف‌تر به نظر می‌رسد.»

اما اگر درست باشد که جهان بی‌هدف است، چرا بسیاری از افراد احساس خوبی به این دیدگاه ندارند و با آن مخالفت می‌کنند؟ بی‌تردید به این دلیل که این دیگاه با تجربهٔ ما در زندگی هم‌خوانی ندارد. حتی حیات بی‌خداترین و بی‌احساس‌ترین دانشمندان نیز پر از لحظه‌هایی است که به‌وضوح «هدف‌دار» هستند، لحظه‌هایی که اهمیت دارند. اگر حیات هیچ هدفی نداشته باشد، چرا باید زحمت محافظت از آن را به خودمان بدهیم؟

کاملاً مطمئنم واینبرگ، انسان‌گرایی باسواد و متفکر، تصدیق می‌کرد که دیدگاهش وجود معنا برای انسان‌ها را نفی نمی‌کند. تردیدی نیست که ما به دیگران و آرمان‌ها و اصول اهمیت می‌دهیم، بدیهی است که اهدافی را دنبال و احساسشان می‌کنیم. اما در مقیاس کلان (براساس استدلال واینبرگ)، این‌ها همه بسیار محدود و فقط مربوط به مکان و زمانی خاص است. قطعاً برای من خیلی مهم است که پروازم را از دست ندهم یا اینکه از مادرم در بیمارستان به‌خوبی مراقبت شود؛ اما خیلی بعید به نظر می‌رسد این‌ها برای ساکنان سیاره‌ای شبیه به زمین با نام تراپیست 6a که در حال گردش به دور یک ستاره در فاصلهٔ ۴۱ سال نوری است[2] هم مهم باشد، یا برای کسی که شش نسل بعد از ما زندگی می‌کند (اگر تا آن موقع کسی زنده مانده باشد).

دیدگاه واینبرگ دربارهٔ جهانی بدون هدف یا معنا تا آنجا به عرف غالب علمی تبدیل شده است که تأکید بر آن برای زیست‌شناسان تقریباً ضرورتی حرفه‌ای به شمار می‌آید. در علوم زیستی، واژه‌هایی مانند هدف، معنا و حتی عملکرد با چنان احتیاطی به کار می‌رود که به تحقیر پهلو می‌زند. در بهترین حالت، این واژه‌ها درون گیومه‌های هراس‌آور قرار می‌گیرند تا صرفاً آن‌ها را تعابیری استعاری معرفی کنند و در بدترین حالت، به‌منزلهٔ نشانه‌هایی از مذهبی پنهان به آن‌ها حمله می‌شود.

همین بیزاری باعث شده است زیست‌شناسی ماهیت خود را انکار کند. یکی از بهترین راه‌ها برای توصیف موجودات زنده، نه از خلال ویژگی‌های خاص آن‌ها، مانند تکثیر یا تکامل،

---

1. Steven Weinberg

۲. بگذارید واضح بگویم، ما نمی‌دانیم که تراپیست 6a ساکنی دارد یا نه، اما حداقل باتوجه به آنچه در حال حاضر در مورد این «سیارهٔ فراخورشیدی» جذاب می‌دانیم، این موضوع امکان‌پذیر به نظر می‌رسد.

بلکه ازطریق این واقعیت است که برای آن‌ها معنا وجود دارد. عناصر و رویدادها در محیط موجودات زنده می‌توانند معنا پیدا کنند. می‌توان گفت حیات، آن بخشی از جهان است که «بی‌هدف» نیست. این واقعیت که «هدفِ» آن نه صرفاً امری محدود یا کوته‌فکرانه، بلکه کاملاً شخصی است، نکته‌ای نیست که بتوان آن را دست‌کم گرفت. این تنها نوع معنایی است که می‌تواند وجود داشته باشد.

به نظر من، گفتهٔ بسیار نقل‌شدهٔ واینبرگ اگر به‌دقت بررسی شود، خودش بی‌معناست. این جمله دچار خطای دسته‌بندی می‌شود و واژه‌ها را در جایی به کار می‌برد که به آن تعلق ندارند. بیشتر شبیه آن است که بگوییم هرچه بیشتر دربارهٔ آب می‌فهمیم، بیشتر درمی‌یابیم که بی‌دوست[1] است. دلیلی وجود ندارد که انتظار داشته باشیم درکیهان‌شناسی یا فیزیکِ ذرات معنایی بیابیم، همان‌طورکه نباید در آن مقوله‌ها به‌دنبال شادی یا حکمت باشیم. معنا چیزی سیال یا نیرویی مرموز نیست که در خلأ پراکنده شده باشد. نه، این حیات است که معنای موجود درکیهان را خلق می‌کند. تنها برای موجودات زنده، یا به‌طورکلی برای چیزهایی که بنابه سرشت خود اهدافی را دنبال می‌کنند، معنا امکان وجود می‌یابد. دقیق‌تر بگویم، به نظر من وقتی چیزی دارای اهداف خودانگیخته باشد و بتوان به‌صورت خودمختار معنایی به آن نسبت داد، می‌توان آن را موجود زنده نامید.[2]

برای آنکه برخی ویژگی‌های محیط یک ارگانیسم دارای معنا باشند، الزاماً نیازی نیست که آن ارگانیسم به آن‌ها «آگاهی» داشته باشد. بااینکه برخی زیست‌شناسان با این نظر مخالف‌اند، من فکر نمی‌کنم یک باکتری از محیط خود آگاه باشد. چنین ارگانیسمی تنها به مکانیسم‌هایی نیاز دارد تا ارزش زیستی یک ویژگی را ارزیابی و براساس آن عمل کند. از این دیدگاه می‌توان حیات را پدیدآورندهٔ معنا در نظرگرفت. می‌توان گفت موجودات زنده قادرند به محیط خود ارزش نسبت دهند و از این طریق موجب پدیدآمدن معنایی درکیهان شوند.

آیا این دیدگاه می‌تواند تعریفی از حیات باشد که همهٔ مصادیق مدنظر ما را در بر بگیرد و بقیه را کنار بگذارد؟ احتمالاً نه. آیا می‌توانیم ماشین‌های فاقد شعوری بسازیم که بتوانند در تولید معنا از حیات تقلید کنند؟ شاید؛ همان‌طورکه می‌توانیم الگوریتم‌های کامپیوتری طراحی کنیم که همهٔ ویژگی‌های حیات‌مانند، همچون تکثیر خودکار و تکامل را شبیه‌سازی کنند. اما فکر نمی‌کنم این موضوع مشکلی ایجاد کند. نگران داوری دراین‌باره نیستم که

---

1. friendless

۲. مایکل لوین استدلال می‌کند که نه‌تنها موجودات زنده، بلکه گروه بزرگ‌تری از موجودات شناختی وجود دارد که می‌توانند «معنا و نیت» داشته باشند. شاید درست بگوید، اما مطمئن نیستم که تا امروز نمونه‌هایی از موجودات واقعاً شناختی داشته باشیم که زنده نباشند.

چه‌چیزی را در «باشگاه حیات» بپذیریم و چه‌چیزی را رد کنیم. هدفم از طرح این ایده آن است که معتقدم باید در بنیان همهٔ بررسی‌ها و تأملات ما دربارهٔ چگونگی عملکرد حیات قرار گیرد. یکی از دلایل اصلی محدودیت استعارهٔ ماشین برای حیات آن است که این استعاره شامل امکان وجود معنا نمی‌شود. برای رسیدن به ماشینی که معنا تولید کند، باید بسیار فراتر از تصور سنتی ماشین عمل کنیم.

دیدگاه حیات در حکم نوعی محاسبه نیز وضعیتی مشابه دارد. الگوریتمی محاسباتی که داده‌های ورودی را دریافت و خروجی تولید می‌کند، در واقع هیچ مفهومی از معنا را مجسم نمی‌کند. بی‌گمان هدف چنین محاسبه‌ای در حالت کلی بقا یا رفاه خودش نیست و در کل ارزش ورودی‌ها را تعیین نمی‌کند.[۱] برای مثال، الگوریتمی کامپیوتری را با رقص زنبورهای عسل مقایسه کنید؛ زنبور جست‌وجوگر ازطریق رقص، اطلاعاتی را که دربارهٔ منبع غذایی پیدا کرده، مثل شهد گل‌ها، به دیگران درکندو منتقل می‌کند. «رقص» شامل حرکاتی با سبک خاص درون کندوست و به زنبورها نشان می‌دهد که غذا در چه فاصله‌ای و در کدام جهت قرار دارد. اما این ورودی دیگر زنبورها را برنامه‌ریزی نمی‌کند تا بروند و آن را جست‌وجو کنند، بلکه آن‌ها این اطلاعات را ارزیابی و با دانش خود از محیط پیرامون کندو مقایسه می‌کنند. برخی زنبورها ممکن است زحمت این سفر را به خود ندهند و آن را به‌صرفه ندانند. این ورودی، هرچه باشد، در چهارچوب وضعیت‌ها و تاریخچهٔ درونی خود ارگانیسم پردازش می‌شود؛ در واقع منجر به هیچ واکنش الزام‌آوری نمی‌شود [فقط یکی از عواملی است که ارگانیسم براساس آن تصمیم می‌گیرد].

در حال حاضر، در علم هیچ نظریهٔ منسجمی دربارهٔ معنا وجود ندارد و برای درک مفاهیم به‌هم‌پیوستهٔ اهداف، مقاصد و نیت‌ها نیز نظریه‌ای در دست نیست. بخشی به این دلیل است که اغلب وجود این عوامل در چگونگی عملکرد حیات به‌کلی انکار شده است؛ در بهترین حالت، آن‌ها را ویژگی‌هایی در نظر می‌گیرند که «انگار» وجود دارند، یعنی ویژگی‌هایی که فقط به نظر می‌رسد موجودات زنده داشته باشند. این موضع همان‌قدر عجیب است که آگاهی را صرفاً توهمی بدانیم که گمان می‌کنیم آن را داریم؛ این نگرش همان پدیده‌ای را انکار می‌کند

---

۱. بازهم، اگر این قیاس را گسترش دهیم تا برخی از انواع جدیدتر محاسبات را دربرگیرد، تمایز ناواضح‌تر می‌شود. برای مثال، شبکه‌های عصبی می‌توانند یاد بگیرند که به برخی از جنبه‌های الگویی که تفسیر می‌کنند، در مقایسه با سایر جنبه‌ها، برجستگی بیشتری نسبت دهند؛ مثلاً یک شبیه‌ساز بینایی که خطوط کلی یا لبه‌ها را به‌عنوان یک جنبهٔ کلیدی از تشخیص و تفسیر تصویر شناسایی می‌کند. و بازهم، این بدان معنا نیست که زندگی در واقع محاسبه است، بلکه به این معنی است که ما داریم برخی از ویژگی‌هایی را به محاسبات خود می‌دهیم که تقریباً مشابه ویژگی‌های موجودات زنده است.

که قرار است توصیفش کند. در فصل ۹ نشان می‌دهم که چگونه می‌توان معنا، هدف و مقاصد را به‌عنوان ویژگی‌هایی علمی، معتبر و قابل‌دفاع صورت‌بندی کرد.

علت اینکه حیات می‌تواند برای خودش معنا تولید کند این است که محصول تکامل[۱] است. شاید بتوانیم نظام‌های دیگری را تصور کنیم که بخواهیم آن‌ها را حیات بنامیم، بی‌آنکه ازطریق انتخاب طبیعی یا هر روش دیگری تکامل یافته باشند. من دراین‌باره نظری ندارم؛ اما بازهم نیازی نمی‌بینم اینجا درگیر این بحث شوم، زیرا سخنم دربارهٔ شکلی از حیات است که ازطریق انتخاب طبیعی داروینی تکامل یافته است.

در اینجا باید با احتیاط پیش برویم. هیچ دلیلی وجود ندارد که بگوییم هدفِ خودِ تکامل پدیدآوردن موجوداتی بوده است که معنا ایجاد می‌کنند؛ تکامل هیچ هدفی ندارد که ما بتوانیم تشخیص دهیم. موجوداتی که معنا می‌آفرینند در دنیای داروینی موفق‌ترند. آفریدن معنا راهی بسیار مؤثر برای زنده‌ماندن و تکثیر است؛ آن‌قدر مؤثر که احتمالاً تنها راه زنده‌بودن است.

هر توضیحی دربارهٔ چگونگی عملکرد حیات باید ماهیت تکاملی آن را در نظر بگیرد. این خود به آن معناست که حتی اگر دلیلی وجود نداشته باشد که فرض کنیم مکانیسم‌های حیات بهینه‌اند، یعنی بهترین و مؤثرترین کارایی ممکن را دارند، منصفانه است که گمان کنیم این وضعیت بهتر از دیگر وضعیت‌ها بوده است. اگر به این نتیجه برسیم (آن‌چنان که می‌رسیم!) که حیات با انتقال دقیق و مرحله‌به‌مرحلهٔ اطلاعات ژنوم ازطریق زنجیره‌های کاملاً هماهنگ مولکولی عمل نمی‌کند تا در نهایت نقشهٔ ازپیش‌تعیین‌شده‌ای را در قالب ارگانیسم اجرا کند، ممکن است به این برداشت منطقی برسیم که این راهبرد کنارگذاشته شده، زیرا روش‌های بهتری برای ساخته‌شدن موجود زنده وجود دارد و شاید حتی این راهبرد اصلاً اجراشدنی نباشد.

این ایده‌ها ممکن است به روشن‌ترشدن مفهوم عملکرد که در زیست‌شناسی کاربرد زیادی دارد کمک کنند. نسبت‌دادن یک عملکرد به یک موجود یعنی فرض می‌کنیم که آن موجود دارای نوعی جهت‌مندی به‌سوی هدف است. بااینکه زیست‌شناسان در اوایل قرن بیستم بر مفهوم سازمان‌یافتگی به‌عنوان ویژگی معرف حیات تمرکز داشتند، در واقع سازمان‌یافتگی به‌خودیِ‌خود

---

۱. در سال‌های اخیر، برخی بدفهمی‌ها در مورد مفهوم تکامل زیستی وجود داشته است و گروهی معتقدند همین کلمه منشأ آن بدفهمی‌هاست؛ از این جهت است که کلماتی مانند فرگشت یا دگرگشت به‌عنوان معادل Evolution مطرح شده‌اند، اما من به دلایل متعددی ترجیح می‌دهم از همان کلمهٔ «تکامل» یا عبارت «تکامل زیستی» در این معنا استفاده کنم. -م

به‌هیچ‌وجه منحصر به مادهٔ زنده نیست. بلورها نیز بسیار سازمان‌یافته‌اند، حداقل به این معنا که بسیار منظم‌اند. شیمی‌دان‌ها معمولاً از سامانه‌های مولکولی «خودسازمان‌یافته» صحبت می‌کنند که می‌توانند بدون دخالت هیچ‌یک از فرایندهای زیستی، به‌صورت خودجوش و صرفاً درنتیجهٔ برهم‌کنش نیروها بین اجزای خود، ساختارهای پیچیده‌ای تشکیل دهند. همان‌طور که خواهیم دید، سیستم‌های زنده از این خودسازمان‌یافتگی بهره می‌گیرند، زیرا این روشی ساده برای ایجاد نظم و ساختارمندی است: نیازی به رمزگذاری و هدایت دقیق ندارد و گویی «رایگان» به دست می‌آید. اما آن نوع سازمان‌یافتگی که معمولاً در سیستم‌های زنده می‌بینیم، با آنچه در موجودات غیرزنده مشاهده می‌شود متفاوت است. ساختارهای پیچیده‌ای که با میکروسکوپ درون سلول‌ها دیده می‌شوند یا حتی سازمان‌یافتگی ساختارهایی در مقیاس مولکولی مانند ریبوزوم‌های تولیدکنندهٔ پروتئین یا کمپلکس جذب‌کنندهٔ نور در فتوسنتز، به‌خاطر عملکردشان است. این سازمان‌یافتگی ازطریق انتخاب طبیعی به دست آمده که اساساً یکی از فرایندهای ایجاد هدف است. چنین گزاره‌ای ممکن است زیست‌شناسان را نگران کند، اما جای نگرانی نیست.[۱] منظور این است که تکامل فرایندی است که اهداف و عملکردها را به وجود می‌آورد؛ فرایندی که می‌تواند خودجوش در طبیعت رخ دهد و بنابراین جزو ویژگی‌های ذاتی قوانین فیزیکی به شمار می‌رود.

زیست‌شناسان اغلب عنوان مقاله‌ای از تئودوسیوس دابژانسکی[۲]، زیست‌شناس تکاملی اوکراینی‌آمریکایی، را نقل می‌کنند که در سال ۱۹۷۳ منتشر شد: «هیچ‌چیز در زیست‌شناسی معنایی ندارد، مگر در پرتو تکامل». اما مطمئن نیستم که مفهوم عمیق این جمله همواره به‌درستی فهمیده شده باشد. این جمله صرفاً نمی‌گوید تکامل فرایندی جهانی است که ازطریق آن حیات شکل گرفته است و بی‌تردید به این معنا نیست که هر چیزی در زیست‌شناسی الزاماً براساس نیازهای تطبیقی انتخاب طبیعی داروینی شکل گرفته و تحمیل شده است. نکتهٔ اصلی این است که ما باید بفهمیم تکامل با ماده چه می‌کند: تکامل به ماده هدف و عملکرد می‌بخشد. همین است که حیات تکامل‌یافته را خاص می‌کند.

---

۱. جِی بی اس هالدین (J. B. S. Haldane)، زیست‌شناس، این مطلب را به‌شیوه‌ای مردسالارانه بیان کرد (که فرانسوا ژاکوب در سال ۱۹۷۰ بدون ذکر منبع آن را تکرار کرد): «اعتقاد به غایت‌گرایی برای زیست‌شناس مانند معشوقه‌ای است که جرئت نمی‌کند در ملأعام با او دیده شود، اما نمی‌تواند بدون او زندگی کند.»

2. Theodosius Dobzhansky

کادر ۱-۱: جمع‌آوری داده‌های تقلیل‌گرایانه در درک چگونگی عملکرد حیات چقدر به ما کمک می‌کند؟

باتوجه به تمام تلاش‌های دانشمندان علوم زیستی برای جمع‌آوری مجموعه‌داده‌های عظیم، ممکن است تصور کنید این رشته با مشکل کمبود اطلاعات مواجه است. پروژه‌های بین‌المللی عظیمی وجود دارند (قبلاً هم وجود داشته‌اند) که هدف آن‌ها نقشه‌برداری کل ژنوم، شناسایی همهٔ مولکول‌های پروتئین و RNA و هرگونه برهم‌کنش آن‌ها و تهیهٔ نقشه‌هایی از مغز یا رویان‌های در حال رشد در مقیاس سلولی است. گاهی ممکن است به‌محض پرشدن ظرفیت یک پایگاه دادهٔ عظیم، حتی قبل از تفسیر اطلاعاتی که جمع‌آوری کرده‌ایم، سراغ پایگاه دادهٔ بعدی برویم. گاهی این شتاب برای رسیدن به کلان‌دادهٔ بعدی، این‌گونه توجیه می‌شود که از ابتدا همین را نیاز داشتیم. بااین‌حال، همهٔ این اطلاعات گاهی در غیاب آنچه علم به‌راستی برای پیشرفت نیاز دارد گردآوری می‌شود: یعنی فرضیه‌هایی برای آزمایش. گویی فرض می‌شود که وقتی حجم داده‌ها به حد بحرانی برسد، بینش‌های علمی بدون نیاز به تحلیل داده‌ها یا فرضیه‌پردازی خودبه‌خود از پایگاه داده سربرمی‌آورند.

این مجموعه‌داده‌های زیستی می‌توانند بینش‌های مهمی به دست دهند و من در این کتاب به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنم. علاوه‌براین بسیاری از زیست‌شناسان، اندیشمندانی ژرف‌اندیش و کل‌نگر هستند؛ بیشتر مطالبی که در ادامه می‌گویم به لطف آن‌هاست. زیست‌شناسی چنین حجم عظیمی از داده دارد، زیرا زندگی بسیار پیچیده و پر از اجزای گوناگون است. اما نگرشی که خواهان داده‌های بیشتری است، درحالی‌که به نظریه‌ها برای توضیح آن‌ها بدگمان است، دو مشکل مرتبط دارد. نخست اینکه چنین نگرشی این دیدگاه را تقویت می‌کند که همه‌چیز جزئیات است و هیچ ایده‌ای که بتوان استثنایی برای آن یافت معتبر نیست. (در زیست‌شناسی همیشه می‌توان استثناهایی یافت.) دوم و مهم‌تر، این نگرش دیدگاه «پایین به بالا» دربارهٔ آن‌چه اهمیت دارد، یعنی علیت را تقویت می‌کند: تا وقتی فهرست جامعی از اجزای دخیل نداشته باشیم، نمی‌توانیم علل پدیده‌ها را درک کنیم. برای نمونه، این دیدگاه‌ها در تلاش‌های کنونی برای شناسایی واریانت‌های ژنی مرتبط با صفات ازطریق تحلیل‌های آماری توالی‌های ژنومی صدها یا هزاران فرد کاملاً مشهود است. این مطالعات اغلب همبستگی‌هایی را آشکار می‌کنند که خود دانشی سودمند است: چراکه به ما امکان می‌دهد مثلاً خطر

آماری ابتلای یک فرد به بیماری را براساس مشخصات ژنتیکی‌اش ارزیابی کنیم. اما چنین مطالعاتی اغلب به ما هشدار می‌دهند که هنوز نمی‌دانیم این واریانت‌های ژنی چگونه موجب بروز آن صفت یا خطر می‌شوند. آنچه ممکن است نادیده گرفته شود این است که این همبستگی فقط یک همبستگی است، نه بیشتر؛ ممکن است اصلاً نشانه‌ای از علیت واقعی نباشد.

همان‌طور که ماریانو بیزاری[1] زیست‌شیمی‌دان و همکارانش گفته‌اند: «برای درک سازوکارها و ارائهٔ بینش مفهومی دربارهٔ چگونگی و چرایی وقوع فرایندها، باید تغییر توجه خود را از ژن‌ها به الگوها و پویایی ارتباطات علّی بین اجزا معطوف کنیم.» در این کتاب می‌کوشم دربارهٔ چگونگی عملکرد حیات براساس علت‌ها صحبت کنم. به‌هرحال این معمولاً همان توضیحی است که علم به دنبال آن است، زیرا نشان می‌دهد می‌توان با روش‌های مؤثر مداخله در یک سیستم تغییراتی ایجاد کرد که قابل پیش‌بینی باشند. به‌طور کلی دانشمندان تا از پیش‌بینی‌پذیری توضیح خود مطمئن نباشند، راضی نمی‌شوند دربارهٔ چگونگی عملکرد سیستم‌ها ادعایی مطرح کنند. در فصل‌های پایانی کتاب می‌گویم با دانشی که در دهه‌های اخیر دربارهٔ چگونگی کارکرد حیات، به‌ویژه حیات موجود در بدن خودمان، به دست آورده‌ایم چه اقدام‌های عملی می‌توان انجام داد.

1. Mariano Bizzarri

کادر ۲-۱: سلول به‌عنوان «اتمِ حیات»

پاول نرس[1] متخصص ژنتیک و برندهٔ جایزه نوبل فیزیولوژی یا پزشکی در سال ۲۰۰۱ به پاس تحقیقاتش دربارهٔ چرخهٔ سلولی، مجموعه رویدادهایی که هنگام تقسیم سلول‌ها رخ می‌دهد، گفته است که سلول «واحد بنیادی حیات» است. هیچ موجودیتی که طبق توافق عمومی زنده باشد و سلولی نباشد وجود ندارد.

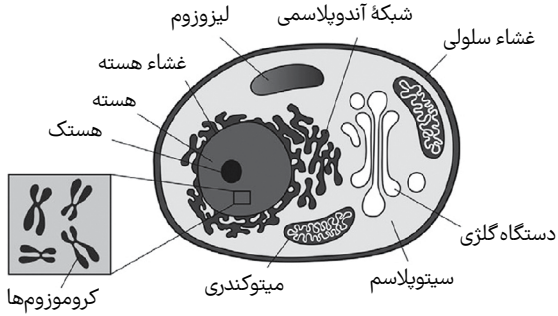
با این‌حال در نیمهٔ دوم قرن بیستم، به سلول جایگاه فرعی داده شد و این ژن بود که در تحلیل‌های تقلیل‌گرایانهٔ فرایندهای زیستی جایگاه اصلی را به خود اختصاص داد. اما رفته‌رفته روشن شد که این رویکرد مناسب نیست، زیرا ژن‌ها زنده نیستند، اما سلول‌ها زنده‌اند. میشل مورانژ می‌گوید سلول به‌منزلهٔ «واحد اصلی در یکپارچه‌سازی فرایندهای زیستی بازکشف شد». او می‌افزاید این بازکشف که نشان داد نمی‌توانیم پدیده‌های با مقیاس سلولی را نادیده بگیریم، «احتمالاً مهم‌ترین تغییری بود که از زمان ظهور زیست‌شناسی مولکولی در دههٔ ۱۹۵۰ رخ داده است»؛ بااین‌حال، به گفتهٔ او بیشتر زیست‌شناسان حتی متوجه این تغییر نشدند.

اما همهٔ اشکال حیات سلولی در این سطح بنیادی یکسان نیستند. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، پیدایش میکروسکوپ‌های مدرن نشان داد که سلول‌ها دارای ساختار و سازمان درونی‌اند. در سلول‌های بدن ما بخشی مرکزی به نام «هسته» وجود دارد که با غشایی از سایر بخش‌ها جدا شده و بیشتر مادهٔ ژنتیکی در آن جای گرفته است، یعنی کروموزوم‌هایی که تقریباً تمام DNA ما را در خود دارند. سلول‌های ما همچنین بخش‌های غشادار دیگری نیز دارند، مانند «میتوکندری» (جایی که انرژی شیمیایی تولید می‌شود و در آن رشته‌های کوچکی از DNA شامل حدود سی عدد از ژن‌های ما قرار دارند) و «دستگاه گلژی» (شکل ۲-۱)

باکتری‌ها و نوع دیگری از جانداران تک‌سلولی به نام آرکی‌ها[2]، ساختار درونی متفاوتی دارند. آن‌ها هسته ندارند و DNA آن‌ها آزادانه در مایع درون‌سلولی به نام سیتوپلاسم شناور است. جانداران تک‌سلولی فاقد هسته را «پروکاریوت»[3] می‌نامند و

1. Paul Nurse
2. archaea
3. prokaryote

کهن‌ترین شکل حیات روی زمین به شمار می‌روند. جاندارانی که سلول‌هایشان هسته دارند «یوکاریوت»[1] نامیده می‌شوند و باور بر این است که آن‌ها بعدها در تاریخ تکاملی پدید آمده‌اند، شاید حدود ۲میلیارد سال پیش و ازطریق ادغام یک پروکاریوت با سلولی دیگرکه ماهیت دقیق آن هنوز مشخص نیست. یوکاریوت‌های تک‌سلولی نیز وجود دارند مانند مخمرها، اما همهٔ جانداران چندسلولی یوکاریوت‌اند.



شکل ۲-۱ سلول انسانی به بخش‌های زیادی به نام اندامک تقسیم می‌شود.

جانوران چندسلولی یا «متازوآ»[2] در دوران پرکامبرین پدید آمدند؛ قدیمی‌ترین شواهد فسیلی از آن‌ها به حدود ۶۳۵میلیون سال قبل بازمی‌گردد. متازوآ علاوه‌بر جانورانِ آشنایی با تقارن دوطرفه مانند انسان (که دو طرف چپ و راست آن‌ها تصویر آینه‌ای یکدیگرند)، اسفنج‌ها، عروس‌های دریایی (از خانوادهٔ کیسه‌تنان) و بی‌مهرگانی به نام «تنوفورها» یا «شانه‌داران»[3] را نیز شامل می‌شود. همان‌طورکه خواهیم دید، با وجود ماهیت سلولی مشترک، متازوآ اصول عملکردی نسبتاً متفاوتی با پروکاریوت‌ها دارند.

1. eukaryote
2. metazoa
3. ctenophores or comb jellies

ادامه دارد...

برای مطالعهٔ مشخصات کتاب **چگونه زنده‌ایم** یا سفارش نسخهٔ فیزیکی آن می‌توانید روی لینک زیر کلیک و کتاب را از سایت نشر نوین تهیه کنید.

خرید کتاب **چگونه زنده‌ایم**

www.NashreNovin.ir