نهری از عدن

ریچارد داوکینز

از نویسنده پرفروش کتاب ساعت ساز نابینا

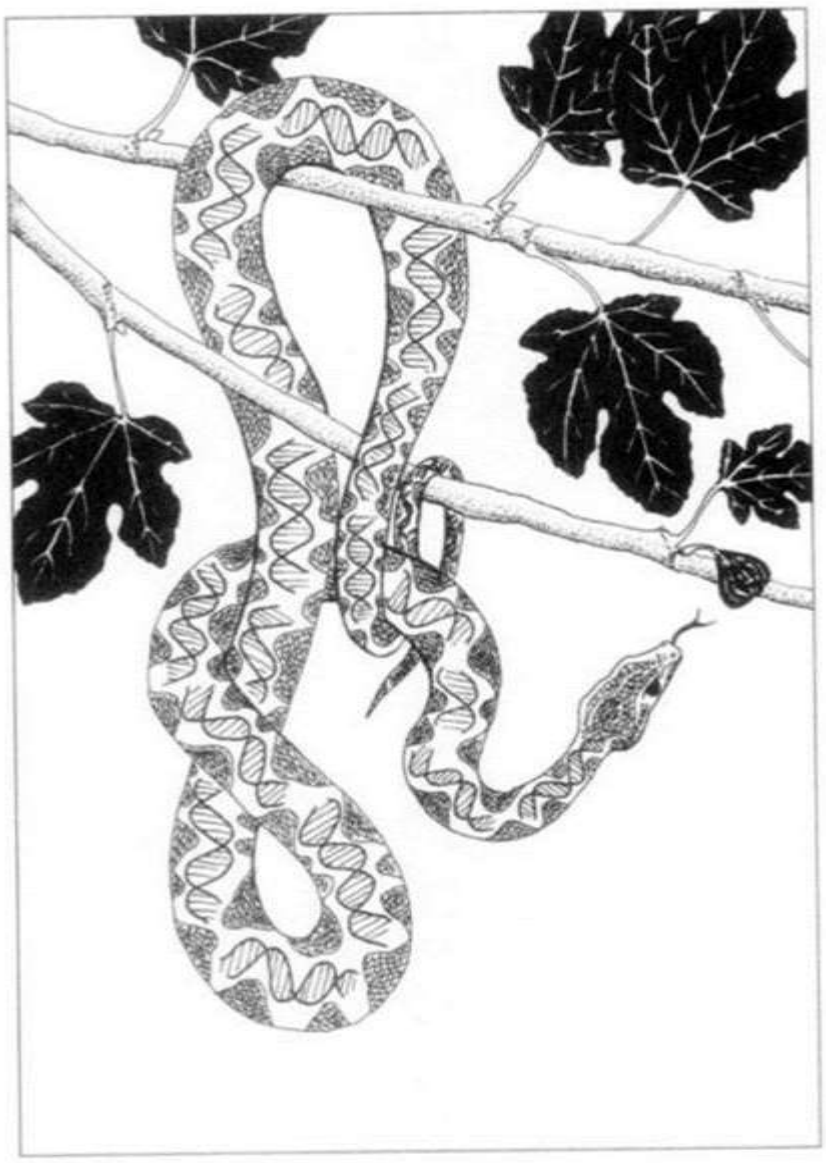
برای دانلود کتاب‌های بیشتر به آدرس NaKhoda.at مراجعه فرمایید.

نهـری از عـدن

نگرش داروینی به حیات

ریچارد داوکینز

تصویرگر: لالا وارد



به یادبود *هنری کول‌یر داوکینز* (۱۹۹۲ - ۱۹۲۱)، عضو کالج سنت جان، آکسفورد: استاد هنر ساده‌سازی مسائل پیچیده.

و نهری از عدن بیرون آمد تا باغ را سیراب کند.

- کتاب پیدایش فصل ۲، آیه ۱۰

فهرست مندرجات

پیش‌گفتار	vii
فصل اول رود دیجیتال	۱
فصل دوم تمام آفریقا و نوادگانش	۲۱
فصل سوم کار خیر را در خفا انجام بده	۴۰
فصل چهارم تابع مطلوبیت خداوند	۶۴
فصل پنجم بمب همتاسازی	۹۱
کتابشناسی و منابع بیشتر	۱۰۹

پیش‌گفتار

«طبیعت» گویی نامی محبوب
برای میلیاردها میلیارد ذره‌ای است
که سرگرم بازی بیلیارد بی‌پایان خود هستند.
- *پیت هِین*[۱]

پیت هِین به خوبی جهان همواره بکر فیزیک را در قالب کلمات به تصویر می‌کشد. اما هنگامی که رفت و بازگشت‌های گوی‌های بیلیارد اتمی مجال این را پیدا می‌کنند که شیئی با یک ویژگی خاص و به ظاهر ساده را بسازند، امری خطیر در عالم رخ می‌دهد. این ویژگی توانایی خودهمتاسازی[۲] است؛ به عبارتی شیء قادر است از مواد پیرامونش برای تهیه کپی‌های دقیقی از خود، به همراه نسخه‌هایی با نقایص جزئی که گاهاً هنگام تکثیر ممکن است رخ دهد، استفاده کند. آنچه در پی این رخداد منحصربه‌فرد در هر نقطه از جهان هستی بروز می‌کند، گزینش داروینی یا به عبارتی نمایش پرزرق‌وبرقی است که روی این کره خاکی آن را «حیات» می‌نامیم. هیچگاه این میزان کثیر از حقایق با فرضیاتی تا به این حد قلیل تبیین نشده است. نظریه داروین نیز به جد و جهدی فراتر از حد لازم برای توضیح آن متوسل نمی‌شود. این ایجاز دارای چنان ظرافت منسجم، و زیبایی شاعرانه‌ای است که حتی از مسحورکننده‌ترین افسانه‌های آغاز جهان هستی نیز پیشی می‌گیرد. یکی از اهداف من در نگارش این کتاب قدردانی درخور و شایسته از خصوصیت الهام‌بخشِ ادراکِ امروزی ما از حیات داروینی است. در «حوای میتوکندریایی[۳]» شاعرانگی بیشتری می‌توان یافت تا در همتای اساطیری یا مذهبی آن.

ویژگی حیات، که به قول *دیود هیوم*[۴] «هر کس را که در آن تعمق و تفکر کند، به ستایش آن وامی‌دارد»، عبارت است از جزییات پیچیده‌ای که مکانیسم‌های حیات - همان مکانیسم‌هایی که چارلز داروین «اندام‌هایی در غایت کمال و پیچیدگی» می‌نامد - با توسل به آن، هدفی مشخص را برآورده می‌نمایند. دیگر ویژگی حیات زمینی که ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد، گوناگونی انبوه آن است: اگر تعداد تخمینی گونه‌ها را در نظر بگیریم، ده‌ها میلیون مسیر مختلف برای ایجاد حیات وجود دارد. هدف دیگر من باوراندن این مطلب به خواننده است که «مسیرهای مختلف برای ایجاد حیات» مترادف است با «مسیرهای مختلف انتقال متن‌های

---

۱ Hein Piet
۲ replication-self
۳ Eve Mitochondrial
۴ Hume David

رمزگذاری‌شده دی‌ان‌ای[1] به آینده». غرض از «نهر»، رودی از دی‌ان‌ای است که در ادوار زمین‌شناسی جریان یافته و انشعاب پیدا می‌کند، و استعاره کرانه‌های پرشیب که محدوده رقابت‌های ژنتیکی هر گونه زیستی را مشخص می‌کنند، ابزاری نیرومند و مفید برای توضیح این مفهوم است.

کلیه کتاب‌های من کمابیش به تفسیر و واکاوی نیروی بی‌حدوحصر اصل داروینی می‌پردازند - نیرویی که در صورت رهاشدن، در هر مکان و زمان، مجال کافی برای رخداد پیامدهای خودهمتاسازی بنیادین وجود خواهد داشت. کتاب *نهری از عدن* ادامه‌دهنده این رسالت و نقطه عطف داستان پیامدهایی است که ممکن است در پی ورود پدیده خودهمتاسازها به بازیِ - تا پیش از این ساده - بیلیارد اتمی رخ دهد.

در مدت نگارش این کتاب، افتخار این را داشتم که به طرق مختلف از حمایت‌ها، تشویق‌ها، مشاوره‌ها و انتقادهای سازنده *مایکل بیرکت*، *جان بروکمن*، *استیو دیویس*، *دنیل دنت*، *جان کربس*، *سارا لیپینکوت*، *جری لیونز*، و به ویژه همسرم، *لالا وارد*، که تصویرگری کتاب را برعهده داشت، بهره‌مند شوم. برخی از پاراگراف‌ها بازنویسی بخشی از مقالاتی است که در نشریات دیگر منتشر شده‌اند. مطالب فصل اول در مورد کدهای دیجیتال و آنالوگ برگرفته از مقاله من در مجله *The Spectator* مورخ ۱۱ ژوئن ۱۹۹۴ می‌باشد. شرح کار تحقیقی *دن نیلسون* و *سوزان پلگر* در رابطه با تکامل تدریجی[2] (فرگشت) چشم که در فصل سوم آمده است، تا حدودی از مقاله من با عنوان «اخبار و دیدگاه‌ها» چاپ‌شده در مجله *Nature* مورخ ۲۱ آوریل ۱۹۹۴، اقتباس شده است. از سردبیران این دو مجله که تهیه مقالات مربوطه را به من سپردند، سپاسگزاری می‌کنم. در پایان، از *جان بروکمن* و *آنتونی چیت‌هم* به خاطر دعوت برای پیوستن به مجموعه انتشارات «سری اساتید علم» قدردانی می‌نمایم.

آکسفورد، ۱۹۹۴

---

۱ DNA

۲ Evolution - بسیاری از صاحبنظران فارسی‌زبان معتقدند از آنجاییکه واژه «تکامل» از ریشه «کمال» و دارای بار معنایی مثبت است، معادل مناسبی برای این مفهوم نیست. لذا به جای آن از واژه «فرگشت» (واژه پیشنهادی داریوش آشوری در کتاب فرهنگ علوم انسانی) استفاده می‌کنند. در ترجمه این کتاب به منظور هماهنگی با متون کلاسیک‌تر در زبان فارسی، همچنان از واژه «تکامل» استفاده شده است - مترجم.

نهری از عدن

فصل اول
رود دیجیتال

تمام اقوام افسانه‌هایی حماسی در مورد نیاکان قوم خود دارند، این افسانه‌ها اغلب در قالب آیین‌های دینی نمود پیدا می‌کنند. مردم به نیاکان خود احترام می‌گذارند و حتی آنها را می‌پرستند - که طبیعی است، زیرا کلید درک حیات در دست نیاکان واقعی است و نه خدایان مافوق‌طبیعی. اکثر موجوداتی که پا به عرصه حیات می‌گذارند قبل از رسیدن به سن بلوغ می‌میرند. از اقلیتی که زنده مانده و تولیدمثل می‌کنند، اقلیتی به مراتب کوچکتر در هزار نسل بعد از خود، نواده‌ای در قید حیات خواهند داشت. این اقلیت بسیار کوچک از آن تعداد قلیل، این نیاکان برگزیده، همانانی هستند که نسل‌های آتی می‌توانند آنها را اجداد خود بنامند. به عبارتی نیاکان یا پیشینیان بسیار کم‌شمارند و نوادگان یا پسینیان پرتعداد.

تمام ارگانیسم‌هایی که تاکنون زیسته‌اند - همه‌ی جانوران و گیاهان، تمام باکتری‌ها و قارچ‌ها، همه جنبندگان و تمام خوانندگان این کتاب - می‌توانند نگاهی به پیشینیان خود انداخته و با افتخار ادعا کنند که: حتی یک تن از نیاکان ما در طفولیت از دنیا نرفت. همه آنها به بلوغ رسیدند، و تک تک آنان قادر به یافتن حداقل یک شریک زندگی از جنس مخالف و تولیدمثل موفق شدند.[1] حتی یک تن از اجداد ما قبل از به دنیا آوردن حداقل یک کودک، به دست دشمن، توسط ویروس یا به خاطر برداشتن گامی اشتباه و سقوط از پرتگاه، جان خود را از دست نداده است. هزاران تن از هم‌عصران نیاکان ما در رسیدن به بلوغ و تولیدمثل ناکام مانده‌اند، اما حتی یک تن از نیاکان ما در این موارد ناموفق نبوده است. این عبارات بسیار بدیهی می‌نمایند، در عین حال معنای فراوانی از آنها متبادر می‌شود: بسیاری که کنجکاوی‌برانگیز و غیرمنتظره هستند، بسیاری که توضیح می‌دهند و بسیاری که شگفت‌انگیزند. کلیه این موارد، موضوع این کتاب خواهند بود.

از آنجایی که تمامی موجودات زنده ژن‌های خود را از نیاکان خود، و نه از هم‌عصران ناکام آنها، به ارث می‌برند، تمام موجودات اغلب صاحب ژن‌های موفق هستند. آنها تمامی آنچه برای تبدیل‌شدن به نیا لازم است، یعنی ابزار بقاء و تولیدمثل، را در اختیار دارند. از همین روست که موجودات اغلب ژن‌هایی را به ارث می‌برند که دارای گرایش طبیعی به ساخت ماشینی خوش‌طرح، یا به عبارتی بدنی هستند که فعالانه در تلاش است تا خود

---

۱ اگر دقیقتر بخواهیم بگوییم، استثنائاتی وجود دارند. برخی جانوران، مانند شته‌ها، بدون عمل جنسی تولیدمثل می‌کنند. تکنیک‌هایی مانند لقاح مصنوعی این امکان را برای انسان‌های امروزی فراهم نموده است که بدون نزدیکی، و حتی بدون رسیدن به سن بلوغ، بچه‌دار شوند، زیرا تخمک‌های موردنیاز برای لقاح آزمایشگاهی را می‌توان از یک جنین ماده نیز دریافت نمود. با اینحال این نکته خللی در اصل موضوع وارد نمی‌کند.

تبدیل به یک «نیا» شود. به همین دلیل است که پرندگان در پرواز، ماهیان در شنا، میمون‌ها در بالارفتن از درخت و ویروس‌ها در تکثیر و انتشار خود تا این حد موفق هستند. از همین روست که ما عاشق زندگی، رابطه جنسی و فرزندان‌مان هستیم. زیرا ما همه بلااستثناء تمامی ژن‌های خود را از سلسله‌ای ناگسسته از نیاکان موفق به ارث برده‌ایم. جهان مملو از موجوداتی می‌شود که برای تبدیل‌شدن به نیاکان هر آنچه لازم است را در اختیار دارند. آنچه تا بدین جا بیان کردیم در یک کلام «داروینیسم» نامیده می‌شود. بی‌گمان، داروین بیش از اینها گفته است و ما امروزه مطالب بیشتری برای گفتن داریم. از این رو این کتاب در اینجا به پایان نمی‌رسد.

راهی طبیعی و در عین حال عمیقاً زیان‌بار برای بدفهمی پاراگراف پیشین، وجود دارد. این اندیشه وسوسه‌انگیز است که تصور کنیم هنگامی که نیاکان ما کارهای موفقیت‌آمیزی انجام می‌دادند، متعاقباً ژن‌هایی را به فرزندان خود منتقل می‌کردند که شکل ارتقاءیافته ژن‌های به ارث رسیده از والدین‌شان بوده است. بخشی از موفقیت آنها از طریق ژن‌های‌شان دست به دست به فرزندان‌شان داده می‌شد و از همین رو نوادگان‌شان در پرواز، شنا و جفت‌یابی اینچنین مهارت دارند. اشتباه است، کاملاً اشتباه است! استفاده از ژن‌ها موجب بهترشدن آنها نمی‌شود، ژن‌ها به جز مواردی نادر از خطاهای تصادفی، بدون تغییر منتقل می‌شوند. موفقیت عامل ایجاد ژن‌های خوب نیست. بلکه ژن‌های خوب هستند که موفقیت را بوجود می‌آورند، و هیچیک از کارهایی که فرد در مدت زندگی‌اش انجام می‌دهد تأثیری بر ژن‌های او ندارد. افرادی که با ژن‌های خوب به دنیا می‌آیند احتمال بیشتری وجود دارد که به نیاکان موفق تبدیل شوند؛ بنابراین، احتمال انتقال ژن‌های خوب به نسل آینده نسبت به انتقال ژن‌های بد بیشتر است. هر نسل حکم فیلتر یا صافی را دارد: ژن‌های خوب غالباً از صافی رد می‌شوند و به نسل بعد می‌رسند؛ ژن‌های بد اغلب در بدن‌هایی گیر می‌کنند که در جوانی یا بدون تولیدمثل از دنیا می‌روند. ژن‌های بد ممکن است برای یک یا دو نسل از فیلتر رد شوند، احتمالاً به این خاطر که شانس آن را داشته‌اند تا همراه با ژن‌های خوب در بدنی حضور پیدا کنند. اما برای اینکه بتوان با موفقیت از هزاران صافی متوالی، یکی پس از دیگری عبور کرد، به چیزی بیش از شانس نیاز است. پس از هزاران نسل متوالی، ژن‌هایی که توانسته‌اند از نسل‌ها عبور کنند، احتمالاً ژن‌های خوب هستند.

پیشتر گفتیم ژن‌هایی که در نسل‌های بعد زنده می‌مانند، ژن‌هایی خواهند بود که در بوجود آوردن نیاکان موفق بوده‌اند. این نکته صحیح است، اما استثناء آشکاری نیز وجود دارد که باید قبل از اینکه اندیشیدن به آن باعث سردرگمی شود، به آن بپردازم. برخی افراد به‌طور غیرقابل‌علاجی نابارور هستند، با اینحال از قرار معلوم به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در انتقال ژن‌های‌شان به نسل‌های آتی مشارکت داشته باشند. انواع کارگرِ مورچه‌ها، زنبورهای معمولی و زنبورهای عسل و موریانه‌ها عقیم هستند. آنان زحمت می‌کشند اما نه برای اینکه خود، بلکه خویشان بارورشان، معمولاً خواهران و برادران‌شان، تبدیل به نیاکان شوند. در اینجا درک دو نکته الزامی است. ابتدا اینکه در تمامی جانوران، خواهران و برادران با احتمال بالایی دارای نسخه‌های مشابه از ژن‌های واحد هستند. دوم اینکه، محیط، و نه ژن‌ها، تعیین می‌کند یک موریانه، به عنوان یک موریانه بارور باشد یا یک کارگر عقیم. تمامی موریانه‌ها حامل ژن‌هایی هستند که تحت برخی شرایط محیطی، قادرند آنها را به کارگرانی

عقیم و در شرایطی دیگر به موریانه‌هایی بارور تبدیل کنند. موریانه‌های بارور نسخه‌هایی عیناً از همان ژن‌هایی را به نسل بعد منتقل می‌کنند که موریانه‌های کارگرِ عقیم را وامی‌دارد تا در این کار به آنها کمک کنند. کارگران عقیم تحت تأثیر ژن‌هایی که نسخه‌ای از آنها در بدن موریانه‌های بارور نیز وجود دارد، بیگاری می‌کنند. نسخه‌های کارگری این ژن‌ها در تلاشند تا به نسخه‌های بارور خود در عبور از صافی بین‌نسلی کمک کنند. موریانه‌های کارگر می‌توانند نر و یا ماده باشند؛ اما در مورچه‌ها، زنبورهای معمولی و زنبورهای عسل تمامی کارگران ماده هستند: به غیر از این، اصول دقیقاً همان است. این الگو به شکلی تقلیل‌یافته، در گونه‌های متعددی از پرندگان، پستانداران، و سایر حیوانات که در آنها برادران و خواهران بزرگتر تا حدی مراقبت از جوان‌ترها را برعهده دارند، نیز صدق می‌کند. کوتاه سخن اینکه، ژن‌ها نه تنها از طریق کمک به بدن خود برای نیا شدن بلکه با یاری رساندن به بدن خویشان برای تبدیل شدن به نیاکان است که می‌توانند راه خود را از میان صافی باز کنند.

منظور از نهر در عنوان کتاب، جریانی از دی‌ان‌ای است که در زمان و نه در مکان، جاری است. آنچه در این رود جریان دارد اطلاعات است و نه خون و گوشت و استخوان: نهری از دستورالعمل‌های انتزاعی برای ساخت اندام‌ها و نه رودی از بدن‌های مادی. اطلاعات از بدن‌ها عبور می‌کنند و بر آنها تأثیر می‌گذارند، اما خود در این مسیر از آنها متأثر نمی‌شوند. این رود نه تنها از تأثیر تجربیات و دستاوردهای بدن‌های متوالی که از آنها عبور می‌کند، مبراست، بلکه منبعی بالقوه از آلودگی، یعنی آمیزش جنسی، که ظاهراً بسیار نیرومندتر نیز هست، تأثیری بر آن ندارد.

در تک تک سلول‌های شما، نیمی از ژن‌های مادر، شانه به شانه‌ی نیمی از ژن‌های پدرتان حضور دارند. ژن‌های مادری و ژن‌های پدری شما در صمیمانه‌ترین شکل ممکن دست به دست هم داده و ملغمه‌ای پیچیده و غیرقابل‌تقسیم که شما هستید را درست می‌کنند. اما خود ژن‌ها با هم ترکیب نمی‌شوند. بلکه تأثیر آنهاست که درهم‌می‌آمیزد. خود ژن‌ها به سختی سنگ هستند. هنگامی که زمان انتقال به نسل بعد فرا می‌رسد، ژن یا به بدن کودکی خاص وارد می‌شود یا نمی‌شود. ژن‌های پدری و ژن‌های مادری درهم‌نمی‌آمیزند؛ آنها به صورت مستقل دوباره ترکیب می‌شوند. یک ژن مشخص در شما یا از مادرتان به ارث رسیده است یا از پدر. همچنین از یک و تنها یکی از چهار جد پدری یا مادری‌تان؛ از یک و تنها یکی از هشت جد پدری یا مادری‌تان؛ و الی آخر به ارث رسیده است.

من از رود ژن‌ها صحبت کردم، اما به همان ترتیب می‌توانیم از گروهی از همراهان خوب که در طول ادوار زمین‌شناسی طی طریق کرده‌اند نیز سخن به میان آوریم. تمام ژن‌های یک جمعیت زادوولدکننده، در بلندمدت، همراهان هم خواهند بود. در کوتاه‌مدت، در بدن‌های منفرد جایگزین شده و موقتاً همراهان صمیمی‌تر دیگر ژن‌های موجود در همان بدن خواهند بود. ژن‌ها تنها زمانی از گذر اعصار مختلف جان سالم بدرمی‌برند که قادر باشند با موفقیت بدن‌هایی بسازند که بتوانند براساس شیوه خاصی از زندگی که توسط گونه‌های حیات

انتخاب می‌شود، زندگی و تولیدمثل خوب و موفقی داشته باشند. اما قضیه به اینجا ختم نمی‌شود. برای اینکه یک ژن بتواند به بقای خود ادامه دهد، باید توانایی همکاری با سایر ژن‌های موجود در همان گونه از حیات یا به عبارتی همان رود را دارا باشد. برای بقاء در بلندمدت، یک ژن باید همراه خوبی باشد. باید در رکاب ژن‌های دیگرِ جاری در همان رود، یا در تقابل با آن ژن‌ها، عملکرد خوبی داشته باشد. ژن‌های دیگر گونه‌ها در رودی متفاوت جریان دارند. آنها مجبور نیستند با هم کنار بیایند - حداقل به مفهومی مشابه - زیرا در بدن‌های واحد مشارکت ندارند.

ویژگی تعیین‌کننده یک گونه این است که تمامی اعضای آن گونه رودی واحد از ژن‌ها را در خود روان دارند و کلیه ژن‌های یک گونه باید آمادگی داشته باشند تا همراهان خوبی برای یکدیگر باشند. یک گونه جدید هنگامی به وجود می‌آید که یک گونه موجود به دو قسمت تقسیم می‌شود. رود ژن‌ها در گذر زمان شاخه شاخه می‌شود. از دیدگاه یک ژن، *گونه‌زایی*[1]، یا خاستگاه گونه جدید، همان «وداع همیشگی» است. پس از مدتی کوتاه از انشعاب جزئی، دو رود مسیرهای کاملاً مجزایی را برای همیشه در پیش خواهند گرفت تا زمانیکه یکی از این دو شاخه به طور کامل خشک شده و گونه مربوطه منقرض شود. آب هر یک از این رودها که بین دو کرانه رود محصور شده است بوسیله «نوترکیبی جنسی»[2] آمیخته و باز آمیخته می‌شود. اما آب یک رود هیچگاه برای آلودن رودی دیگر از کرانه خود سرریز نمی‌شود. پس از اینکه یک گونه تقسیم شد، دو مجموعه جدید ژن دیگر همراهان هم نخواهند بود. آنها دیگر در همان بدن واحد با هم ملاقات نکرده و دیگر نیازی نیست با هم کنار بیایند. دیگر هیچ مقاربتی بین آنها رخ نخواهد داد. منظور از مقاربت در اینجا همان آمیزش جنسی بین حامل‌های موقت آنها یعنی بدن‌های‌شان است.

چه دلیلی برای جدایی دو گونه وجود دارد؟ چه چیزی آغازگر وداع همیشگی ژن‌های آنها است؟ چه چیزی موجب انشعاب رود و دورشدن دو شاخه منشعب‌شده از یکدیگر و جدایی ابدی آنها می‌شود؟ اتفاق‌نظر کاملی درمورد جزییات این پدیده وجود ندارد ولی شکی نیست که مهمترین عامل، انفصال تصادفی جغرافیایی است. رود ژن‌ها در زمان جریان دارد، اما به‌هم‌پیوستن مجدد و فیزیکی ژن‌ها در بدن‌های مادی رخ می‌دهد و بدن‌ها مکانی را در فضا اشغال می‌کنند. یک سنجاب خاکستری از آمریکای شمالی در صورت ملاقات با یک سنجاب خاکستری از انگلستان می‌تواند با آن زاد و ولد کند. اما بعید است که این دو با هم ملاقات کنند. رود ژن‌های سنجاب خاکستری آمریکای شمالی عملاً بوسیله ۵ هزار کیلومتر اقیانوس از رود ژن‌های سنجاب خاکستری انگلستان جدا شده است. این دو گروه ژن در واقع دیگر همراه هم نیستند، هرچند احتمالا درصورت فراهم شدن موقعیت، قابلیت این را دارند تا همراهان خوب یکدیگر باشند. با اینکه با هم وداع کرده‌اند، این جدایی هنوز غیرقابل‌بازگشت نیست. اما اگر چند هزار سال از این جداشدن بگذرد، احتمالا این دو رود به حدی

---

speciation ۱

binationrecom sexual ۲

از هم دور خواهند شد که اگر سنجاب‌هایی از دو گروه یکدیگر را ملاقات کنند، قادر به تبادل ژن نخواهند بود. «دورشدن» در اینجا به معنای دورشدن از حیث سازگاری است نه از نظر مکانی.

چیزی مانند این تقریباً به قطع‌یقین در ورای جدایی قدیمی‌تری است که بین سنجاب‌های خاکستری و سنجاب‌های قرمز رخ داده است. آنها قادر نیستند با هم زاد و ولد کنند. از نظر جغرافیایی آنها در بخش‌هایی از اروپا زیستگاه مشترک دارند، و با اینکه احتمالاً هر از چند گاهی با هم ملاقات کرده و بر سر غذا با هم درگیر می‌شوند، قادر به جفتگیری و تولید فرزندانی بارور نیستند. رودهای ژنتیکی آنها به قدری از هم دور شده‌اند که می‌توان گفت ژن‌های آنها دیگر برای همکاری با یکدیگر در بدن مناسب نیستند. در نسل‌ها قبل‌تر، نیاکان سنجاب‌های خاکستری و نیاکان سنجاب‌های قرمز سنجاب‌های واحدی بوده‌اند. اما آنها از نظر جغرافیایی - احتمالاً بوسیله یک رشته کوه، یا رودخانه و دریاچه و نهایتاً بوسیله اقیانوس اطلس از هم جدا شدند. و گروه ژن‌های آنها جدا از هم رشد کردند. انفصال جغرافیایی منجر به فقدان سازگاری شد. همراهان خوب به همراهانی ضعیف تبدیل شدند (و یا درصورتی که در آزمون رویارویی برای جفت‌گیری قرار می‌گرفتند، همراهان ضعیفی از کار درمی‌آمدند). همراهان ضعیف، ضعیف‌تر از قبل شدند تا جایی که اکنون دیگر همراه به حساب نمی‌آیند. وداع آنها قطعی است. مسیر دو رود از هم جدا شده و مقدر گردیده تا از هم دور و دورتر شوند. همین داستان برای جدایی خیلی قدیمی‌تر بین، برای مثال، نیاکان ما و نیاکان فیل، قابل‌نقل است. یا بین نیاکان شترمرغ (که آنها نیز نیاکان ما بوده‌اند) و نیاکان عقرب‌ها.

در حال حاضر احتمالاً رود دی‌ان‌ای قریب به سی میلیون انشعاب دارد، زیرا این تعداد تخمینی گونه‌های موجود بر روی زمین است. همچنین تخمین زده می‌شود گونه‌های در قید حیات موجود حدود ۱ درصد کل گونه‌هایی است که تا بحال زیسته‌اند. این بدان معناست که در مجموع حدود سه میلیارد انشعاب در رود دی‌ان‌ای وجود داشته است. سی میلیون انشعاب امروزی این رود به شکل برگشت‌ناپذیری از هم جدا هستند. سرنوشت بسیاری از آنها انقراض و محوشدن از صحنه روزگار است. اگر مسیر سی میلیون رود (جهت اختصار، انشعابات را رود می‌نامیم) را رو به عقب دنبال کرده و به گذشته سفر کنید، خواهید دید که این شاخه‌ها، یک به یک به رودهای دیگر ملحق می‌شوند. رود ژن‌های انسانی حدود هفت میلیون سال قبل، هم‌زمان با رود ژن‌های گوریل به رود ژن‌های شامپانزه ملحق می‌شود. چند میلیون سال قبل‌تر از آن، رود ژن‌های مشترک ما و بوزینه آفریقایی به جریان ژن‌های اورانگوتان می‌پیوندد. باز هم عقب‌تر، رود ژن‌های گیبون به ژن‌های ما ملحق می‌شود - رودی که در پایین به تعدادی گونه‌ی مجزای میمون گیبون و سیامانگ تقسیم می‌شود. همچنان که در زمان به عقب برمی‌گردیم، رود ژنتیکی ما به دیگر رودهای مقدرشده ملحق می‌شود، اگر بازهم پیشتر برویم به رود میمون‌های دنیای جدید، میمون‌های دنیای قدیم، و لمورهای ماداگاسکار تقسیم می‌شود. زمانی عقب‌تر برویم و این بار شاهد پیوستن رود ما به رودهای سایر گروه‌های اصلی پستانداران، یعنی جوندگان، گربه‌سانان، خفاشان، و فیل‌ها هستیم. پس از آن، با جریان‌هایی مواجه می‌شویم که به انواع گوناگون خزندگان، پرندگان، دوزیستان، ماهیان، و بی‌مهره‌گان منتهی می‌شوند.

در اینجا نکته مهمی در استعاره رود وجود دارد، که باید جنبه احتیاط را درمورد آن رعایت کنیم. هنگامی که درمورد انشعاب منجر به پیدایش کلیه پستانداران می‌اندیشیم - در مقابلِ، به فرض مثال، جریانی از ژن‌ها که منجر به بوجودآمدن سنجاب خاکستری می‌شود - وسوسه می‌شویم چیزی در مقیاس بزرگی رودخانه می‌سی‌سی‌پی یا میزوری را تصور کنیم. به هر حال شاخه پستانداران در چندین مرحله به شاخه‌های دیگر منشعب می‌شود تا زمانیکه تمامی پستانداران، از حشره‌خوار کوتوله گرفته تا فیل، و از موش‌های کور در زیر زمین تا میمون‌های آویزان در بالای بلندترین شاخه درختان را بوجود آورد. شاخه پستانداران این رود که قرار است هزاران هزار آبراهه پهناور و مهم را تغذیه کند، چگونه می‌تواند چیزی جز سیلابی عظیم و خروشان باشد؟ اما این تصویر کاملاً اشتباه است. رویداد جداشدن نیاکان پستانداران مدرن از غیرپستانداران مهمتر از سایر گونه‌زایی‌ها نبود. اگر طبیعت‌شناسی در آن زمان زندگی می‌کرد، این واقعه نمی‌توانست توجه او را به خود جلب کند. انشعاب جدید رود ژن‌ها قطره‌ای بود جاری در گونه‌ای از موجود کوچک شب‌زی که تفاوتش با عموزاده‌های غیرپستاندار خود بیشتر از تفاوت سنجاب قرمز و سنجاب خاکستری نبود. اینکه ما نیاکان پستاندار خود را به عنوان پستاندار می‌شناسیم تنها به خاطر نگاه رو به عقب ماست. در آن ایام، نیاکان پستاندار ما تنها گونه‌ای دیگر از خزندگان پستاندرمانند بودند که شاید با ده‌ها جانورِ کوچکِ پوزه‌دارِ حشره‌خوارِ که غذای دایناسورها به شمار می‌آمدند، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای نداشتند.

پیش از آن نیز در جدایی بین نیاکانِ تمامی گروه‌های بزرگ حیوانات، یعنی مهره‌داران، نرم‌تنان، سخت‌پوستان، حشرات، کرم‌های حلقوی، کرم‌های پهن، عروس دریایی و غیره، رویداد غیرعادی وجود نداشت. هنگامی که رود منتهی به نرم‌تنان (و سایر جانوران) از رود منتهی به مهره‌داران (و سایر جانوران) جدا می‌شد، دو جمعیت این موجودات (احتمالاً کرم‌مانند) آنقدر شبیه به یکدیگر بودند که می‌توانستند با هم جفت‌گیری کنند. تنها دلیلی که این کار را انجام نمی‌دادند این بود که به طور تصادفی به خاطر وجود موانع جغرافیایی، مانند سرزمین خشک ایجادشده بین آب‌هایی که زمانی به هم متصل بودند، از یکدیگر جدا شده بودند. هیچکس نمی‌توانست حدس بزند یک جمعیت محتوم به تولید نرم‌تنان خواهد بود و سرنوشت دیگری با ایجاد مهره‌داران گره خواهد خورد. این دو رود دی‌ان‌ای دو جوی باریک بودند که به زحمت از هم فاصله داشتند و این دو گروه از جانوران از یکدیگر قابل‌تمییز نبودند.

جانورشناسان از تمام این مطالب آگاه هستند، اما گاهی هنگام اندیشیدن به گروه‌های بسیار بزرگ حیوانات مانند نرم‌تنان و مهره‌داران، این نکته را فراموش می‌کنند. آنها وسوسه می‌شوند جدایی بین گروه‌های اصلی را رویدادی بسیار مهم تلقی کنند. دلیل به اشتباه افتادن جانورشناسان این است که این باور کم‌وبیش متعصبانه از ابتدا در ذهن آنها نقش بسته که هر کدام از تقسیم‌بندی‌های بزرگ قلمرو جانوران با مفهومی بسیار منحصربه‌فرد آمیخته است، مفهومی که غالباً با واژه آلمانی باوپلن *(Bauplan)* بیان می‌شود. با اینکه این کلمه صرفاً به معنای «طرح کلی» است، به یک واژه فنی شناخته‌شده تبدیل شده است و با وجود اینکه هنوز در ویرایش جدید لغت‌نامه انگلیسی آکسفورد وارد نشده است (مسئله‌ای که برای من کمی عجیب است) من آنرا

مانند یک کلمه انگلیسی صرف خواهم کرد. (از آنجاییکه کمتر از برخی همکارانم از بکارگیری این کلمه لذت می‌برم، باید اعتراف کنم که از نبود آن در فرهنگ آکسفورد نه تنها ناراحت نیستم، بلکه خوشحالم؛ در عین حال، وجود واژگان خارجی دیگر در فرهنگ آکسفورد نشانه این است که تعصب سیستماتیکی علیه واردشدن کلمات خارجی وجود ندارد.) در معنای تخصصی، باوپلن، اغلب به عنوان «طرح اساسی بدن» ترجمه می‌شود. بکارگیری واژه «اساسی» (و به همان نسبت، توسل به معادل آلمانی آن برای نشان‌دادن عمق مطلب) دلیل این خسران است. این مسئله ممکن است باعث شود جانورشناسان دچار خطاهای جدی شوند.

به عنوان نمونه، یک جانورشناس اظهار کرده است که تکامل در دوره کامبرین[۱] (حدوداً بین ششصد تا پانصد میلیون سال قبل) باید فرآیندی کاملاً متفاوت از تکامل در دوره‌های بعدی بوده باشد. استدلال وی این بود که امروزه این گونه‌های جدید هستند که بوجود می‌آیند، درحالیکه در دوره کامبرین، ما شاهد ظهور گروه‌های اصلی جانوران مانند نرم‌تنان و سخت‌پوستان بودیم. اشتباه بودن این استدلال کاملاً آشکار است! حتی موجوداتی اساساً متفاوت از یکدیگر همچون نرم‌تنان و سخت‌پوستان، در اصل جمعیت‌هایی از یک گونه مشابه بوده‌اند که صرفاً از لحاظ جغرافیایی از یکدیگر جدا شدند. برای مدتی، در صورت ملاقات، می‌توانستند با هم زاد و ولد کنند، اما ملاقات میسر نشد. پس از میلیون‌ها سال تکامل مجزا از هم، آنها ویژگی‌هایی کسب نموده‌اند که ما، با نگرش جانورشناسان مدرن به گذشته، به عنوان ویژگی‌های نرم‌تنان و سخت‌پوستان می‌شناسیم. این ویژگی‌ها با عنوان پرطمطراق «طرح اساسی بدن» یا «باوپلن» ابهتی کاذب پیدا کرده‌اند. اما باوپلن‌های بنیادی قلمروی جانوران به صورت تدریجی از منشاءهای مشترک فاصله گرفتند.

مسلماً، اختلاف‌نظری جزئی، هرچند فراگیر، درمورد اینکه تکامل تا چه میزان تدریجی یا تا چه حد «جهشی» است، وجود دارد. اما هیچ بنی‌بشری تصور نمی‌کند روند تکامل آنقدر جهشی باشد که بتواند یک باوپلن کاملاً جدید را به یکباره خلق کند. نویسنده‌ای که از وی نقل‌قول کردم این مطلب را در سال ۱۹۵۸ نگاشته است. امروزه معدود جانورشناسانی با صراحت از این نویسنده جانبداری می‌کنند، با این وجود گاهی به صورت ضمنی قبول کرده و به گونه‌ای صحبت می‌کنند که گویی گروه‌های اصلی جانوران، همچون الهه حکمت و زیبایی یونان، آتنا، که از پیشانی زئوس بیرون جست، به صورت خودبخود و ناگهانی و با شکل و شمایلی بی‌نقص، ظهور کرده‌اند و نه از طریق انشعاب از جمعیت نیاکان پس از وقوع اتفاقی جدایی جغرافیایی بین دو گروه.[۲]

---

۱ Cambrian

۲ خوانندگان باید این نکات را هنگام مراجعه به کتاب حیات شگفت‌انگیز، اثر استیفان جی. گولد مدنظر داشته باشند. در این کتاب، نویسنده شرح زیبایی از زیاگان (جانوران) کامبرین برجس شیل (Shale Burgess) ارائه می‌دهد.

در هر صورت، تحقیقات زیست‌شناسی مولکولی نشان داده است که گروه‌های بزرگ جانوران بیش از آنچه تصور می‌کردیم به هم نزدیک هستند. کد ژنتیکی را می‌توان همچون یک واژه‌نامه تصور کرد که در آن شصت و چهار کلمه در یک زبان (شصت و چهار ترکیب سه‌تایی ممکن از یک الفبای چهار حرفی) به بیست و یک کلمه در زبانی دیگر (بیست آمینواسید به علاوه نشانه نقطه‌گذاری) مرتبط شده‌اند. احتمال دو بار رسیدن به یک رابطه واحد ۶۴:۲۱ به صورت تصادفی یک میلیون میلیون میلیون میلیون میلیونیم است. با اینحال کد ژنتیکی در واقع به معنای واقعی کلمه در کلیه جانوران، گیاهان و باکتری‌هایی که تا بحال بررسی شده‌اند یکسان بوده است. تمامی موجودات زنده زمینی قطعاً از یک نیای مشترک واحد بوجود آمده‌اند. در این مورد اختلاف‌نظری وجود ندارد، با اینحال هنگامی که علاوه بر کد ژنتیک، توالی‌های[1] اطلاعات ژنتیکی نیز به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد، برخی شباهت‌های شگفت‌انگیز بین، به عنوان مثال حشرات و مهره‌داران، نمایان می‌شود. مکانیزم ژنتیکی بسیار پیچیده‌ای مسئول طرح بندبندی بدن حشرات است. در پستانداران نیز دستگاه ژنتیکیِ به طرز باورنکردنی مشابهی یافت شده است. از نقطه‌نظر مولکولی، کلیه حیوانات خویشاوندان بسیار نزدیک یکدیگر و حتی گیاهان هستند. برای پیداکردن اقوام بسیار دور خود باید به سراغ باکتری‌ها برویم، حتی در آنجا هم کد ژنتیکی با کد ما یکسان است. دلیل این که انجام محاسباتی تا به این حد دقیق بر روی کد ژنتیکی امکانپذیر بوده اما انجام آن روی آناتومی باوپلن‌ها میسر نیست، در آن است که کد ژنتیکی دقیقاً دیجیتال (رقمی) است و ارقام را می‌توان با دقت بالا شمارش نمود. رود ژن‌ها، رودی دیجیتال است. در اینجا لازم است این واژه مهندسی را برای خوانندگانی که با آن آشنایی ندارند، توضیح دهم.

تفاوت کدهای دیجیتال و آنالوگ برای مهندسان اهمیت بالایی دارد. گرامافون‌ها، دستگاه‌های ضبط‌صوت، تلویزیون‌های قدیمی و تا همین اواخر اغلب تلفن‌ها از امواج آنالوگ استفاده می‌کردند. لوح‌های فشرده، کامپیوترها، اینترنت، تلفن‌های موبایل و هوشمند از کدها یا یا پالس‌های دیجیتال استفاده می‌کنند. در یک سیستم تلفن آنالوگ، امواجِ پیوسته متغیرِ فشار هوا (اصوات) در میکروفن تبدیل به امواجِ متغیرِ ولتاژِ متناظر با آن در سیم می‌شوند. یک صفحه گرامافون هم به همان صورت کار می‌کند: شیارهای موج‌دار باعث می‌شوند سوزن گرامافون در هنگام حرکت بر روی آنها ارتعاش کند، و حرکات سوزن به نوسانات متناظر در ولتاژ تبدیل می‌شود. در انتهای دیگر سیم، این امواج ولتاژ بوسیله غشاء لرزان گوشی تلفن یا بلندگوی گرامافون دوباره به امواج متناظر فشار هوا تبدیل می‌شوند تا ما بتوانیم صدا را بشنویم. این کد ساده و مشخص است: نوسانات الکتریکی در سیم متناسب است با نوسانات فشار در هوا. تمامی ولتاژهای ممکن، در محدوده‌ای مشخص، قادرند در سیم حرکت کنند، و وجود اختلاف بین آنها اهمیت دارد.

---

sequence ۱

در یک تلفن دیجیتال، تنها دو یا چند تعداد مجزا از ولتاژهای ممکن، مانند ۸ یا ۲۵۶، در سیم جریان می‌یابند. اطلاعات نه در خود ولتاژ بلکه در الگویی از سطوح گسسته جای می‌گیرد. این الگو «مدولاسیون کد پالس[۱]» نام دارد. در هر زمان مشخص، ولتاژ واقعی به ندرت دقیقاً برابر با یکی از، مثلاً، هشت مقدار اسمی است، اما دستگاه گیرنده آنرا به نزدیک‌ترین سطح ولتاژ تعیین‌شده گرد می‌کند تا آنچه که از انتهای خط بیرون می‌آید حتی در صورت ضعیف بودن انتقال جریان در امتداد خط، تقریباً بی‌نقص باشد. تنها کاری که باید انجام داد تنظیم سطوح گسسته با فاصله کافی از هم به نحوی است که دستگاه گیرنده به غلط نوسانات تصادفی را به عنوان سطوح اشتباه تفسیر نکند. این نکته مزیت بزرگ کدهای دیجیتال به شمار می‌آید، و به همین دلیل است که امروزه سیستم‌های صوتی تصویری، و به طور کلی فن‌آوری اطلاعات، تقریباً به طور کامل دیجیتال هستند. البته کامپیوترها برای تمام کارهایی که انجام می‌دهند، از کدهای دیجیتال استفاده می‌کنند. برای سهولت کار، این کدها به صورت باینری یا دودویی است، به عبارتی به جای ۸ یا ۲۵۶ تنها دو سطح ولتاژ استفاده می‌شود.

البته حتی در تلفن‌های دیجیتال نیز، صدایی که وارد میکروفن شده و از بلندگوی گوشی یا هدست خارج می‌شود همچنان نوسانات آنالوگ در فشار هواست. آنچه که به صورت دیجیتال است، اطلاعاتی است که در مدارات ردوبدل می‌شود. نوعی کد باید برای ترجمه مقادیر آنالوگ، میکروثانیه به میکروثانیه، به توالی پالس‌های گسسته - که ارقام کدگذاری به صورت دیجیتال هستند - تنظیم شود. هنگامی که در پشت تلفن با معشوق خود در حال نجوای عاشقانه هستید، هر لرزش و تغییر ظریف در صدا، هر آه پرشور و هر زمزمه مهربانانه‌ای که ادا می‌کنید در سیم‌ها و مدارات تلفن و مخابرات تنها به صورت اعداد منتقل می‌شوند. این اعداد ممکن است در پای تلفن اشک شما را جاری کنند، به شرطی که با سرعت کافی رمزگذاری و رمزگشایی شوند. دستگاه‌های سوئیچینگ الکترونیکی مدرن آنقدر سریع هستند که می‌توان خط تلفن را به برش‌های زمانی تقسیم کرد، درست مانند یک استاد شطرنج که همزمان با چند حریف بازی می‌کند و زمانش را بین هر میز تقسیم می‌نماید. با این روش، می‌توان هزاران مکالمه را ظاهراً به طور همزمان ولی از نظر الکترونیکی به صورت مجزا، بدون اینکه تداخلی در آنها رخ دهد، در یک خط تلفن واحد برقرار کرد. یک خط داده ترانک[۲]، رودی عظیم از ارقام است. بسیاری از این خطوط امروزه دیگر به شکل سیم نیستند بلکه امواجی رادیویی هستند که یا مستقیماً از آنتن‌های واقع بر روی بلندی‌ها یا از طریق ماهواره مستقیماً ارسال و دریافت می‌شوند. اما به خاطر این تفکیک الکترونیکی هوشمندانه، می‌توان گفت هزاران رود دیجیتالی مجزا در کرانه‌های واحد به صورت سطحی جریان دارند، درست مانند سنجاب‌های قرمز و خاکستری که در درختان مشترکی زندگی می‌کنند اما ژن‌های آنها هرگز در هم آمیخته نمی‌شود.

---

۱ Pulse Code Modulation

۲ trunk data line

در دنیای مهندسی، تا زمانیکه سیگنال‌های آنالوگ مکرراً کپی نشوند، نقص آنها چندان حائز اهمیت نیست. بر روی یک نوار ضبط‌صوت ممکن است اندکی صدای هوا وجود داشته باشد که به زحمت شنیده شود، مگر اینکه صدای نوار را تقویت کنید، که در این صورت صدای هوا هم تقویت شده و مقداری نویز جدید بوجود خواهد آمد. اما اگر این نوار را کپی کنید، سپس از آن کپی، کپی دیگری بگیرید و به همین منوال کپی کردن را ادامه دهید، پس از صدمین «نسل»، تمام آنچه باقی می‌ماند فقط یک صدای خش وحشتناک است. در روزگاری که سیستم تلفن آنالوگ بود، مشکلی شبیه به این وجود داشت. سیگنال‌های تلفن در طول سیم‌های بلند ضعیف می‌شوند و می‌بایست هر چند مایل یکبار تقویت شده و دامنه آنها افزایش یابد. در دوران آنالوگ، این مشکل یک کابوس بود، زیرا هر مرحله تقویت دامنه، به همان نسبت صدای هوای پس‌زمینه را هم تقویت می‌کرد. سیگنال‌های دیجیتال نیز نیاز به تقویت دارند. اما به دلایلی که دیدیم، این تقویت هیچگونه خطایی را ایجاد نمی‌کند: این کار را طوری می‌توان انجام داد که صرفنظر از تعداد ایستگاه‌های تقویت‌کننده بین راه، اطلاعات کاملاً بی‌نقص منتقل گردد. حتی پس از هزاران مایل نیز، صدای هوا و پارازیت‌ها افزایش نخواهد یافت.

وقتی که بچه کوچکی بودم، مادرم به من توضیح می‌داد که سلول‌های عصبی ما سیم‌های تلفن بدن هستند. اما سوال این است این سیم‌ها دیجیتال هستند یا آنالوگ؟ در جواب باید گفت سلول‌های عصبی ترکیبی جالب از هر دو هستند. یک سلول عصبی شبیه سیم الکتریکی نیست. بلکه یک لوله نازک دراز است که امواج تغییرات شیمیایی در امتداد آن عبور می‌کند، مانند خط باروت در حال اشتعال بر روی زمین، البته برخلاف خط باروت، عصب به سرعت خود را بازیابی می‌کند و می‌تواند پس از مدت کوتاهی استراحت دوباره مشتعل شود. اندازه مطلق موج، مانند دمای اشتعال باروت، ممکن است در هنگام حرکت در عصب، کم و زیاد شود، اما این موضوع بی‌اهمیت است. کد آنرا نادیده می‌گیرد. پالس شیمیایی، مانند دو سطح متفاوت ولتاژ در یک تلفن دیجیتال، یا وجود دارد یا ندارد. تا اینجا، دستگاه عصبی دیجیتال است. اما پیام‌های عصبی به صورت بایت درنمی‌آیند: آنها به شکل کدهای رقمی مجزا به هم متصل نمی‌شوند. در عوض، قدرت پیام (بلندی صدا، روشنایی نور، شاید حتی شدت یک احساس) به صورت سرعت پالس رمزگذاری می‌شود. مهندسان به این عمل «مدولاسیون فرکانس پالس» می‌گویند، که قبل از اینکه «مدولاسیون کد پالس» مورد استفاده قرار گیرد، نزد آنها محبوبیت داشت.

سرعت پالس یک کمیت آنالوگ است، اما خود پالس‌ها دیجیتال هستند: یا وجود دارند یا ندارند، حد وسطی وجود ندارد. و دستگاه عصبی همانند یک سیستم دیجیتال، از این ویژگی بهره می‌برد. به دلیل نحوه کار سلول‌های عصبی، یک تقویت‌کننده مشابه آمپلیفایر، البته نه در هر صد مایل، بلکه در هر میلی‌متر از دستگاه عصبی وجود دارد. به عبارتی بین نخاع و نوک انگشت شما، هشتصد ایستگاه تقویت‌کننده وجود دارد. اگر ارتفاع مطلق پالس عصبی- موج باروت - تغییر کند، پیام در طول دست انسان (گردن دراز زرافه جای خود را دارد) از حالت اولیه خود خارج شده و قابل‌شناسایی نخواهد بود. هر مرحله در تقویت پالس باعث بروز اشکالات تصادفی بیشتری می‌شود، شبیه همان مشکلی که در نوار ضبط مغناطیسی پس از هشتصد بار تکثیر رخ می‌دهد. یا

هنگامی که از یک برگه کپی‌شده، مجدداً کپی می‌گیرید. پس از هشتصدمین «نسل» کپی، آنچه بر روی برگه خواهید داشت یک سایه خاکستری مبهم است. کدگذاری دیجیتال تنها راه‌حل ممکن را برای مشکل سلول عصبی ارائه می‌دهد، و انتخاب طبیعی آنرا به نحوی شایسته پذیرفته است. همین مسئله در مورد ژن‌ها صدق می‌کند.

به عقیده من، *فرانسیس کریک*[۱] و *جیمز واتسون*[۲]، دو گشاینده رمز ساختار مولکولی ژن، باید همتای ارسطو و افلاطون برای قرن‌ها تقدیر شوند. جوایز نوبل آنها در رشته «فیزیولوژی یا پزشکی» اعطا شد، که صحیح اما ناکافی بود. سخن گفتن از انقلاب پیاپی تا حدی تناقص در لفظ است، اما نه تنها علم پزشکی که کل درک ما از حیات در نتیجه مستقیم تغییر نحوه تفکر که این دو مرد جوان در سال ۱۹۵۳ آغازگر آن بودند، به طور پیاپی بارها و بارها منقلب خواهد شد. خود ژن، و بیماری ژنتیکی، تنها نوک کوه یخ هستند. نکته واقعاً انقلابی در خصوص بیولوژی مولکولی در عصر پس از واتسون-کریک همانا دیجیتالی شدن آن است.

اکنون پس از واتسون و کریک، می‌دانیم ژن‌ها در ساختار داخلی بسیار بسیار ریز خود رشته‌هایی طولانی از اطلاعات دیجیتالی محض هستند. علاوه‌براین، آنها نه به مفهوم ضعیفی که در دستگاه عصبی وجود دارد، بلکه به مفهوم کامل و استواری که در کامپیوتر و سی‌دی بکار می‌رود، واقعاً دیجیتال هستند. کد ژنتیک یک کد باینری (دودویی) مانند کامپیوتر یا کد هشت‌تایی مانند برخی سیستم‌های تلفنی نیست بلکه یک کد چهارتایی، متشکل از چهار علامت، است. کد دستگاه ژن‌ها به صورتی شگفت‌انگیز شبیه کامپیوتر است. صرفنظر از تفاوت‌های موجود در اصطلاحات فنی، صفحات یک مجله بیولوژی مولکولی ممکن است با صفحات یک مجله مهندسی کامپیوتر اشتباه گرفته شود. علاوه بر پیامدهای متعدد، این انقلاب دیجیتالی در اصلی‌ترین بطن حیات، ضربه کشنده و نهایی را به فلسفه اصالت حیات وارد کرده است، باوری که برمبنای آن مواد زنده عمیقاً از مواد غیرزنده متمایز هستند. تا قبل از سال ۱۹۵۳، هنوز پذیرش این عقیده که در پروتوپلاسم[۳] زنده رازی بسیار بنیادی و خلل‌ناپذیر وجود دارد، امکانپذیر بود. اما پس از آن این امکان از بین رفت. حتی فلاسفه متمایل به نظریه مکانیکی[۴] (ماده‌گرایی افزارگانی) حیات نیز نمی‌توانستند باور کنند که رویاهای دست‌نیافتنی آنها اینگونه به طور تمام و کمال به حقیقت بپیوندد.

در صورت وجود فن‌آوریی که تفاوت آن با فن‌آوری امروز تنها سرعت اندکی بالای آن باشد، داستان علمی تخیلی زیر قابل‌تصور است: پروفسور جیم *کریکسون* توسط یک قدرت خارجی شرور ربوده شده و مجبور

---

۱ Crick Francis
۲ Watson James
۳ protoplasm
۴ view mechanistic

است در آزمایشگاه‌های جنگ‌افزار بیولوژیک آنها کار کند. برای نجات تمدن بشر، او باید اطلاعاتی فوق سری را به دنیای بیرون بفرستد، اما تمامی کانال‌های معمول ارتباطاتی به روی او بسته است، به جز یک کانال. کد دی‌ان‌ای حاوی شصت و چهار «کدون[۱]» سه‌تایی است که برای کل حروف بزرگ و کوچک الفبای انگلیسی به علاوه ده عدد، نویسه فاصله و نقطه کافی است. پرفسور کریکسون یک ویروس آنفلوانزای مسری را از قفسه آزمایشگاه برداشته و در ژنوم آن متن کامل پیامش را برای دنیای خارج به صورت جملات کاملاً دقیق انگلیسی مهندسی می‌کند. او پیامش را چندین بار در ژنوم مهندسی‌شده تکرار نموده و یک توالی قابل‌تشخیص، مثلاً، ده عدد اول نخست را به عنوان «علامت»، اضافه می‌کند. سپس خود را به ویروس آلوده کرده و در یک اتاق پر از آدم عطسه می‌کند. موجی از ویروس آنفلوانزا جهان را درمی‌نوردد، آزمایشگاه‌های پزشکی در سرزمین‌های دوردست در تلاش برای طراحی تهیه واکسن، شروع به تعیین توالی ژنوم ویروس می‌کنند. در زمان کوتاهی مشخص می‌شود که الگوی تکراری عجیبی در ژنوم وجود دارد. اعداد اول، که نمی‌توانند به صورت خودبخود به وجود آمده باشند، فردی مشکوک می‌شود و به فکر بکارگیری تکنیک‌های رمزگشایی می‌افتد. از آنجا به بعد خواندن متن کاملِ پیام انگلیسی پرفسور کریکسون که با عطسه در سرتاسر جهان پخش شده، به راحتی میسر می‌شود.

سیستم ژنتیکی ما، که سیستمی جهانی از کل حیات موجود روی سیاره زمین است، از اصل و اساس دیجیتال است. شما می‌توانید با دقت کلمه به کلمه کل انجیل عهد جدید را در قسمت‌هایی از ژنوم انسان که در حال حاضر با دی‌ان‌ای «زائد» پر شده‌اند، رمزگذاری کنید. دی‌ان‌ای زائد نوعی دی‌ان‌ای است که حداقل به شکل معمول توسط بدن استفاده‌نشده است. هر سلول بدن شما حاوی اطلاعاتی معادل چهل و شش نوار داده بسیار عظیم است، که نویسه‌های دیجیتال را از طریق تعداد بیشماری هد خوانش که به صورت همزمان کار می‌کنند، می‌خوانند. در هر سلول، این نوارها، یعنی کروموزوم‌ها[۲]، حاوی اطلاعات یکسان هستند، اما هدهای خوانش در سلول‌های مختلف برای اهداف تخصصی خود، به سراغ بخش‌های متفاوتی از پایگاه داده می‌روند. به همین دلیل است که سلول‌های ماهیچه با سلول‌های کبد تفاوت دارند. هیچ نیروی حیاتی تحت فرمان روح، و هیچ ماده مرموز ضرباندار، حجمدار، زادوولدکننده و پروتوپلاسمایی وجود ندارد. حیات تنها مجموعه بزرگی از بایت‌های اطلاعات دیجیتال است.

ژن‌ها، اطلاعات محض هستند، اطلاعاتی که می‌توان آنها را رمزگذاری، رمزگردانی و رمزگشایی نمود، بدون اینکه هیچ کاهش یا تغییری در معنا رخ دهد. اطلاعات محض را می‌توان کپی کرد و از آنجا که این اطلاعات از نوع دیجیتال است، تطابق نسخه کپی و اصل می‌تواند بسیار چشمگیر باشد. نویسه‌های دی‌ان‌ای با چنان دقتی کپی می‌شوند که مهندسین امروزی به زحمت از عهده انجام آن برمی‌آیند. به جز تعدادی خطای

---

codon ۱

chromosomes ۲

موردی که برای ایجاد تنوع در گونه‌ها کافی است، این نویسه‌ها عیناً از نسلی به نسل بعد کپی می‌شوند. در بین این تنوعات، ترکیبات رمزگذاری‌شده‌ای که در جهان کثرت بیشتری پیدا می‌کنند آشکارا و خود به خود آنهایی خواهند بود که در هنگام رمزگشایی و اجراشدن در داخل بدن، بدن را مجبور می‌کنند تا در حفظ و تکثیر همان پیام‌های دی‌ان‌ای فعالانه تلاش کند. ما، یعنی تمام موجودات زنده، ماشین‌های بقایی هستیم که برنامه‌ریزی شده‌ایم تا همان پایگاه داده‌های دیجیتالی که برنامه‌ریزی را انجام داده، تکثیر کنیم. حال داروینیسم را می‌توان به عنوان بقای بازماندگان در سطح کد دیجیتال محض در نظر گرفت.

با نگاه کلی به گذشته تصور حالتی غیر از این ممکن نیست. یک سیستم ژنتیکی آنالوگ را می‌توان تصور کرد. اما پیشتر دیدیم هنگامی که اطلاعات آنالوگ برای چند نسل متوالی کپی می‌شود، چه بر سر آن می‌آید. درست شبیه اتفاقی که برای جمله اصلی در بازی نجوای چینی (تلفن‌بازی) می‌افتد. سیستم‌های تقویت‌شده تلفن، نوارهای کپی‌شده ضبط‌صوت، فتوکپی گرفته‌شده از روی فتوکپی، همگی آنچنان نسبت به افت کیفیت آسیب‌پذیر هستند که کپی‌برداری پس از تنها چند نسل معدود دیگر توجیه‌پذیر نیست. از سوی دیگر، ژن‌ها می‌توانند خود را برای میلیون‌ها نسل کپی کنند و به ندرت دچار افت کیفیت شوند. دلیل موفق‌بودن داروینیسم این است که، جدا از جهش‌های مجزا، که انتخاب طبیعی آنرا یا حذف می‌کند یا نگه می‌دارد، روند نسخه‌برداری بی‌نقص است. تنها یک سیستم ژنتیکی دیجیتال قادر به حفظ داروینیسم طی دوران طولانی زمین‌شناسی است. ۱۹۵۳، سال «مارپیچ دوگانه[۱]»، صرفاً پایان دوران نظریات عرفانی و دانش‌ستیزانه در مورد حیات نبود؛ داروینیست‌ها آنرا سالی می‌دانند که موضوع آنها در نهایت دیجیتالی شد.

رود اطلاعات دیجیتالی محض، که با شکوه و عظمت در ادوار زمین‌شناختی روان است و به سه میلیارد شاخه تقسیم می‌شود، تصویری بسیار پرقدرت است. اما این رود ویژگی‌های شناخته‌شده حیات را در کجا رها می‌کند؟ بدن‌ها، دست و پاها، چشم‌ها، مغزها و سبیل‌ها، برگ‌ها، تنه درختان و ریشه‌ها را در کجا رها می‌کند؟ ما و اعضای بدن‌مان را در کجا رها می‌کند؟ ما، اعم از جانوران، گیاهان، تک‌یاخته‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها، آیا فقط کرانه‌هایی هستیم که نهرهای داده‌های دیجیتال در آنها روانند؟ به یک معنا، پاسخ مثبت است. اما، همانطور که به طور ضمنی بیان کرده‌ام، موضوع گسترده تر از این است. ژن‌ها نه تنها از خود نسخه‌هایی تهیه می‌کنند که از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. بلکه در واقع وقت خود را در بدن‌ها صرف نموده و بر شکل و رفتار بدن‌های بعدی که به آنها وارد می‌شوند، تأثیر می‌گذارند. بدن‌ها نیز دارای اهمیت هستند.

به عنوان مثال بدن یک خرس قطبی تنها یک جفت کرانه برای یک جوی دیجیتال نیست. بلکه یک ماشین پیچیده در ابعاد هیکل خرس نیز هست. تمام ژن‌های موجود در کل جمعیت خرس‌های قطبی یک

---

۱ double helix

اجتماع شلوغ از همراهانی خوب هستند که در گذر زمان به یکدیگر تنه می‌زنند تا راه خود را باز کنند. اما آنها تمام وقت خود را در همراهی با تمامی اعضای این جامعه سپری نمی‌کنند: بلکه همراهان خود را در داخل این جامعه تغییر می‌دهند. جامعه عبارتست از مجموعه‌ای از ژن‌ها که می‌توانند به صورت بالقوه با سایر ژن‌ها در درون این جامعه تماس داشته باشند (اما نمی‌توانند با هیچیک از اعضای سی میلیون جامعه دیگر در جهان ملاقات کنند). تماس‌های واقعی همواره در داخل یک سلول از بدن یک خرس قطبی انجام می‌شود. و آن بدن ظرفی منفعل برای دی‌ان‌ای نیست.

در وهله نخست، تعداد مطلق سلول‌ها، که در هر یک از آنها مجموعه کاملی از ژن وجود دارد، خارج از حد تصور است: حدود نهصد میلیون میلیون برای یک خرس نر بزرگ‌جثه. اگر تمام سلول‌های یک خرس قطبی را در یک خط به صف کنید، طول آن به راحتی برابر با فاصله زمین تا کره ماه و بالعکس خواهد بود. این سلول‌ها از حدود چند صد نوع متمایز تشکیل شده‌اند و اساساً همان چند صد نوع در تمامی پستانداران مشترک هستند، یعنی: سلول‌های ماهیچه، سلول‌های عصبی، سلول‌های استخوان، سلول‌های پوست و غیره. سلول‌های هر یک از این انواع مختلف برای تشکیل بافت‌هایی چون بافت ماهیچه، استخوان و غیره، به دور هم جمع می‌شوند. کلیه سلول‌ها از هر نوع که باشند حاوی دستورات ژنتیکی موردنیاز برای ساخت سلولی از هر یک از این انواع هستند. اما تنها ژن‌های مقتضی برای بافت موردنظر فعال می‌شوند. به همین دلیل است که سلول‌های بافت‌های مختلف دارای اشکال و ابعاد مختلف هستند. جالب‌تر اینکه، ژن‌های فعال‌شده در سلول‌هایی از یک نوع خاص باعث می‌شوند آن سلول‌ها بافت‌های خود را به شکل‌های خاصی رشد دهند. استخوان‌ها توده‌ای بی‌شکل از بافتی سفت و سخت نیستند. استخوان‌ها دارای اشکال خاصی هستند: لوله‌های توخالی، دالان‌ها و حفره‌ها ، مهره‌ها و برآمدگی‌ها. سلول‌ها بوسیله ژن‌های فعال‌شده داخل‌شان، برنامه‌ریزی می‌شوند تا به گونه‌ای رفتار کنند که گویی می‌دانند نسبت به سلول‌های مجاور خود در کجا قرار گرفته‌اند، بدین گونه است که می‌توانند بافت‌های خود را به اشکال مختلف مانند نرمه گوش، دریچه قلب، عدسی چشم و عضلات تنگ‌شونده (یا اسفنکتر[1]) بسازند.

پیچیدگی یک موجود زنده مثل خرس قطبی دارای ابعاد مختلفی است. بدن مجموعه‌ای پیچیده از اندام‌هایی با اشکال دقیق، مانند کبد، کلیه و استخوان است. هر اندام مجتمعی عمارت‌مانند از بافت‌های خاص است و آجرهای آن را سلول‌هایی تشکیل می‌دهند که اغلب به صورت لایه‌لایه یا ورقه‌ورقه و در عین حال غالباً به حالت توده‌های جامد هستند. در مقیاسی بسیار کوچک‌تر، هر سلول دارای یک سازه داخلی بسیار پیچیده از غشاهای تاخورده است. این غشاها، و آب بین آنها، صحنه وقوع انواع بسیار متفاوت از واکنش‌های پیچیده شیمیایی است. در یک کارخانه بسیار بزرگ مواد شیمیایی ممکن است چند صد واکنش شیمیایی متفاوت در حال انجام باشند. این واکنش‌های شیمیایی بوسیله دیواره ظروف آزمایشگاهی، لوله‌ها و غیره از هم جدا نگه

---

۱ sphincter

داشته می‌شوند. در یک سلول زنده نیز ممکن است در آن واحد به همان تعداد واکنش شیمیایی رخ دهد. غشای سلول تا حدی مشابه ظروف شیشه‌ای آزمایشگاه است، با اینحال این تشبیه به دو دلیل چندان درست نیست. ابتدا اینکه، گرچه بسیاری از واکنش‌های شیمیایی بین غشاها صورت می‌گیرد، تعداد نسبتاً بالایی از آنها در *داخل* خود ماده غشا اتفاق می‌افتد. دوم اینکه، شیوه مهم‌تری وجود دارد که در آن واکنش‌های مختلف مجزا از هم نگه داشته می‌شوند. هر واکنش توسط آنزیم خاص خود کاتالیز می‌شود.

آنزیم مولکول بسیار بزرگی است که شکل سه‌بعدی آن سطحی را برای تحریک واکنش ایجاد کرده و بدین ترتیب نوع خاصی از واکنش شیمیایی را تسریع می‌کند. از آنجاییکه اهمیت مولکول‌های بیولوژیک در شکل سه‌بعدی آنهاست، می‌توان آنزیم را همچون دستگاه بزرگی در نظر گرفت که به دقت قالب‌بندی شده تا خط تولید مولکول‌هایی با شکل خاص را راه‌اندازی کند. بنابراین در آن واحد ممکن است در داخل هر سلول صدها واکنش شیمیایی مختلف به طور همزمان و در عین حال مستقل از هم روی سطح مولکول‌های مختلف آنزیم در حال انجام باشد. نوع واکنش‌های شیمیایی خاصی که در داخل یک سلول معین باید رخ دهد توسط نوع خاص مولکول‌های آنزیمی که به تعداد زیاد وجود دارد، تعیین می‌شود. هر مولکول آنزیم و شکل حیاتی آن، تحت تاثیر تعیین‌کننده یک ژن خاص تشکیل می‌شود. اگر بخواهیم مشخص‌تر بگوییم، توالی دقیق چند صد حروف کد در ژن توسط مجموعه‌ای از قواعد کاملاً شناخته‌شده (کد ژنتیکی)، توالی آمینواسیدها را در مولکول آنزیم تعیین می‌کند. هر مولکول آنزیم زنجیره‌ای خطی از آمینواسیدهاست. هر زنجیره خطی آمینواسید خودبه‌خود به صورت یک ساختار سه‌بعدی منحصربه‌فرد و خاص، پیچیده می‌شود، مانند گره‌ای، که در آن بین قسمت‌هایی از زنجیره و قسمت‌های دیگر آن اتصال متقاطع[۱] ایجاد شود. ساختار سه‌بعدی دقیق گره بوسیله توالی یک‌بعدی آمینواسیدها، و در نتیجه براساس توالی یک‌بعدی حروف کد در ژن تعیین می‌شود. و بدین ترتیب واکنش‌های شیمیایی که در یک سلول رخ می‌دهد بوسیله ژن‌های فعال‌شده تعیین می‌شود.

پس چه چیز نوع ژن‌هایی را که در یک سلول خاص باید فعال شوند مشخص می‌کند؟ پاسخ مواد شیمیایی است که از قبل در سلول وجود دارند. در اینجا به معمای مرغ یا تخم‌مرغ می‌رسیم، اما این مسئله غیرقابل‌حل نیست. راه‌حل این تناقض اساساً بسیار ساده است، هرچند در جزئیات پیچیده می‌نماید. این راه‌حلی است که مهندسان کامپیوتر آنرا «خود راه‌اندازی» (بوت‌استرپ کردن) می‌نامند. هنگامی که در سال ۱۹۶۰ برای نخستین بار شروع به استفاده از کامپیوتر کردم، تمام برنامه‌ها باید از طریق نوار کاغذی بارگذاری می‌شدند. (کامپیوترهای آمریکایی آن دوره اغلب از کارت‌های پانچ استفاده می‌کردند، ولی اصول کار یکی بود). قبل از اینکه بتوانید نوار بزرگ یک برنامه سنگین را بارگذاری کنید، باید یک برنامه کوچکتر به نام بوت‌استرپ لودر[۲] (بارکننده خودراه‌انداز) را بارگذاری می‌کردید. بوت‌استرپ لودر برنامه‌ای بود که تنها یک کار می‌کرد: به کامپیوتر

---

۱ link-cross

۲ loader bootstrap

می‌گفت چگونه نوارهای کاغذی را بارگذاری کند. اما اینجا بود که سر و کله معمای مرغ یا تخم‌مرغ پیدا می‌شد: خود نوار بوت‌استرپ لودر باید چگونه بارگذاری می‌شد؟ در کامپیوترهای مدرن، معادل بوت‌استرپ لودر سخت‌افزارهای داخل دستگاه است، اما در آن روزها، باید کلیدها را با ترتیب و تشریفات خاصی روشن خاموش می‌کردید. این ترتیب به کامپیوتر می‌گفت چگونه خواندن بخش اول نوار بوت‌استرپ لودر را شروع کند. سپس اولین قسمت از نوار بوت‌استرپ لودر به کامپیوتر می‌گفت چگونه قسمت دوم نوار بوت‌استرپ لودر را بخواند و الی آخر. زمانیکه بوت‌استرپ لودر به طور کامل وارد شده بود، کامپیوتر می‌دانست چگونه هر نوار کاغذی دیگر را بخواند، و از آن به بعد کامپیوتر قابل‌استفاده بود.

هنگامی که یک جنین شروع به رشد می‌کند، یک تک سلول، یعنی تخمک بارور، به دو بخش تقسیم می‌شود؛ این دو بخش به چهار بخش، چهار بخش به هشت بخش و الی آخر تقسیم می‌شوند. تنها چند ده تقسیم نیاز است تا تعداد سلول‌ها به چند تریلیون برسد، که نشان‌دهنده قدرت تقسیم تصاعدی[۱] است. اما اگر قضیه به همین سادگی بود، این چند تریلیون سلول همگی باید مشابه می‌بودند. پس چگونه بین آنها (به تعبیر فنی) «افتراق[۲]» رخ می‌دهد و سلول‌های کبد، کلیه، ماهیچه و غیره که در هر یک از آنها ژن‌ها و آنزیم‌های متفاوتی فعال شده‌اند، بوجود می‌آیند؟ از طریق خودراه‌اندازی، و این کار بدین ترتیب انجام می‌شود. با اینکه تخمک شبیه یک کره است، در واقع در ماده شیمیایی داخل خود دارای پلاریته (قطبیت) است. تخمک دارای بالا و پایین، و در بسیاری از موارد، جلو و عقب (و در نتیجه سمت چپ و راست) است. این قطبیت‌ها خود را به شکل ترازی از مواد شیمیایی نشان می‌دهند. غلظت برخی مواد شیمیایی به شکل پیوسته از جلو به عقب و برخی دیگر از بالا به پایین، افزایش می‌یابد. این ترازهای اولیه بسیار ساده هستند، اما برای تشکیل نخستین مرحله در عملیات خودراه‌اندازی کافی‌اند.

به عنوان مثال، هنگامی که تخمک پس از پنج بار تقسیم‌شدن، به سی و دو سلول رسید، بعضی از این سی و دو سلول دارای مقدار بیشتری ماده شیمیایی سمت بالا و سلول‌های دیگر دارای مقدار بیشتری ماده شیمیایی سمت پایین خواهند بود. این سلول‌ها همچنین ممکن است از لحاظ مواد شیمیایی تراز جلو و عقب متعادل نباشند. این تفاوت‌ها برای فعال‌کردن ترکیبات متفاوتی از ژن‌ها در سلول‌های مختلف کافی هستند. در نتیجه ترکیبات متفاوتی از آنزیم در سلول قسمت‌های مختلف جنین اولیه وجود خواهد داشت. این کار تضمین می‌کند ترکیبات متفاوتی از ژن‌های بیشتر در سلول‌های مختلف فعال شوند. بنابراین، اصلیت سلول‌ها به جای اینکه همانند نیاکان بافتزاد[۳] (کلون) خود در داخل جنین باشد، از آنها افتراق پیدا می‌کند.

---

۱ growth exponential

۲ differentiate

۳ ancestor-clone

این افتراق با واگرایی گونه‌ها که پیشتر در موردش بحث کردیم بسیار تفاوت دارد. این افتراق سلولی از قبل برنامه‌ریزی شده است و جزئیات آن قابل‌پیشبینی است، درحالیکه واگرایی گونه‌ها نتیجه تصادفی رخدادهای جغرافیایی و غیرقابل‌پیشبینی بود. علاوه‌براین، هنگامی که گونه‌ها دچار واگرایی می‌شوند، ژن‌ها نیز گرفتار می‌شوند، اتفاقی که من نام تخیلی «وداع همیشگی» را بر آن گذاشتم. هنگامی که اصلیت سلول در داخل جنین دچار افتراق می‌شود، هر دو قسمت همان ژن‌های مشابه (همه آنها) را دریافت می‌کنند. اما سلول‌های مختلف ترکیبات مختلفی از مواد شیمیایی را دریافت می‌کنند. این مواد، ترکیبات مختلفی از ژن‌ها را فعال می‌کنند، و برخی ژن‌ها برای فعال یا غیرفعال کردن سایر ژن‌ها فعالیت می‌کنند. و خودراه‌اندازی به همین صورت ادامه می‌یابد تا زمانیکه مجموعه کاملی از انواع مختلف سلول داشته باشیم.

سلول‌های جنین درحال‌رشد فقط به چندصد نوع مختلف متمایز نمی‌شود. بلکه تغییرات پویای پیچیده‌ای نیز در شکل داخلی و خارجی آن رخ می‌دهد. احتمالاً قابل‌توجه‌ترین تغییر یکی از اولین تغییرات در جنین است: یعنی فرآیندی به نام کمالگی[۱] (گاسترولاسیون) . جنین‌شناس برجسته *لوییس ولپرت*[۲] پا را تا حدی فرا گذاشته و ادعا می‌کند: «مهمترین دوره در زندگی شما، تولد، ازدواج یا مرگ نیست، بلکه کمالگی است.» آنچه که در کمالگی رخ می‌دهد به این صورت است که یک توپ توخالی از سلول خمیده می‌شود تا به شکل فنجانی با یک لایه داخلی درآید. اصولاً همه جنین‌ها در قلمروی جانوران همین فرآیند کمالگی را طی می‌کنند. این بنیان ثابتی است که تنوع جنین‌شناسی[۳] بر آن بنا شده است. من در اینجا کمالگی را تنها به عنوان یک نمونه- نمونه‌ای برجسته - از حرکات پرجنب‌وجوش و اوریگامی‌وار لایه‌های سلولی که غالباً هنگام رشد جنین مشاهده می‌شود، مطرح کردم.

در انتهای یک اجرای ماهرانه اوریگامی؛ پس از چندین مرحله تاشدن، بازشدن، متورم شدن و کشیده شدن لایه‌های سلولی؛ پس از رشد افتراقی هماهنگ و پویای بخش‌هایی از جنین به قیمت رشدنکردن قسمت‌های دیگر آن؛ پس از تمایز صدها نوع سلول تخصصی شیمیایی و فیزیکی؛ هنگامی که تعداد کل سلول‌ها به چند تریلیون رسید، محصول نهایی یعنی نوزاد آماده است. اما خیر، حتی نوزاد نیز محصول نهایی نیست، زیرا کل رشد یک فرد - همراه با رشد سریع برخی بخش‌ها نسبت به بقیه قسمت‌ها - تا بزرگسالی و پس از آن را نیز باید به عنوان ادامه همان فرآیند جنینی درنظر گرفت: یعنی کل فرآیند جنینی.

افراد به دلیل تفاوت در جزییات کمّی در کل دوران جنینی‌شان، با هم تفاوت دارند. یک لایه سلول قبل از تاخوردن به سمت داخل، اندکی دیگر رشد می‌کند، و نتیجه چیست؟ یک بینی عقابی به جای بینی

---

۱ gastrulation

۲ Wolpert Lewis

۳ ymbryologe

سربالا؛ کف پای صاف، که به خاطر آن از سربازی معاف می‌شوید و می‌تواند باعث نجات جان‌تان شود؛ یک شکل خاص استخوان کتف که می‌تواند شما را مستعد موفقیت در رشته پرتاب نیزه (و یا بسته به شرایط شما، نارنجک، یا توپ کریکت) نماید. برخی اوقات، تغییرات فردی در اوریگامی لایه‌های سلول می‌تواند پیامدهای فاجعه باری به دنبال داشته باشد، مثلاً هنگامی که یک کودک با بازوهای ناقص به دنیا می‌آید. تفاوت‌های فردی که خود را در اوریگامی لایه سلولی نشان نداده بلکه فقط شیمیایی هستند ممکن است پیامدهای به همان حد مهم داشته باشند: ناتوانی هضم شیر، استعداد هم‌جنس‌گرایی، یا آلرژی به بادام زمینی، یا تصور اینکه انبه دارای مزه ناخوشایند تربانتین[1] است.

رشد جنینی یک نمایش بسیار پیچیده فیزیکی و شیمیایی است. تغییر جزییات در هر مقطعی در زمان خود می‌تواند پیامدهای قابل‌ملاحظه‌ای در مراحل بعدی داشته باشد. وقتی به خاطر بیاورید که فرآیند خودراه‌اندازی شده تا چه حد سنگین است، این مسئله تعجب‌برانگیز نخواهد بود. بسیاری از تفاوت‌ها در نحوه رشد افراد، به دلیل تفاوت، به عنوان مثال، در کمبود اکسیژن محیط یا قرارگیری در معرض تالیدومید[2] است. بسیاری دیگر از تفاوت‌ها به دلیل وجود تفاوت‌ها در ژن‌هاست - نه فقط ژن‌ها به صورت مجزا بلکه ژن‌ها در تعامل با ژن‌های دیگر، و در تعامل با تفاوت‌های زیست‌محیطی. این فرآیند پیچیده، متنوع، ظریف و خودراه‌اندازی شده از هر دو سو که رشد جنینی می‌خوانیمش، هم قوی است و هم حساس. قوی است زیرا با تغییرات بالقوه متعددی می‌جنگد تا کودکی زنده را علیرغم شرایط بسیار نامساعد، خلق کند؛ در عین حال، به حدی به تغییرات حساس است که دو فرد حتی دوقلوهای یکسان هم در تمامی ویژگی‌های خود منحصربه‌فرد هستند.

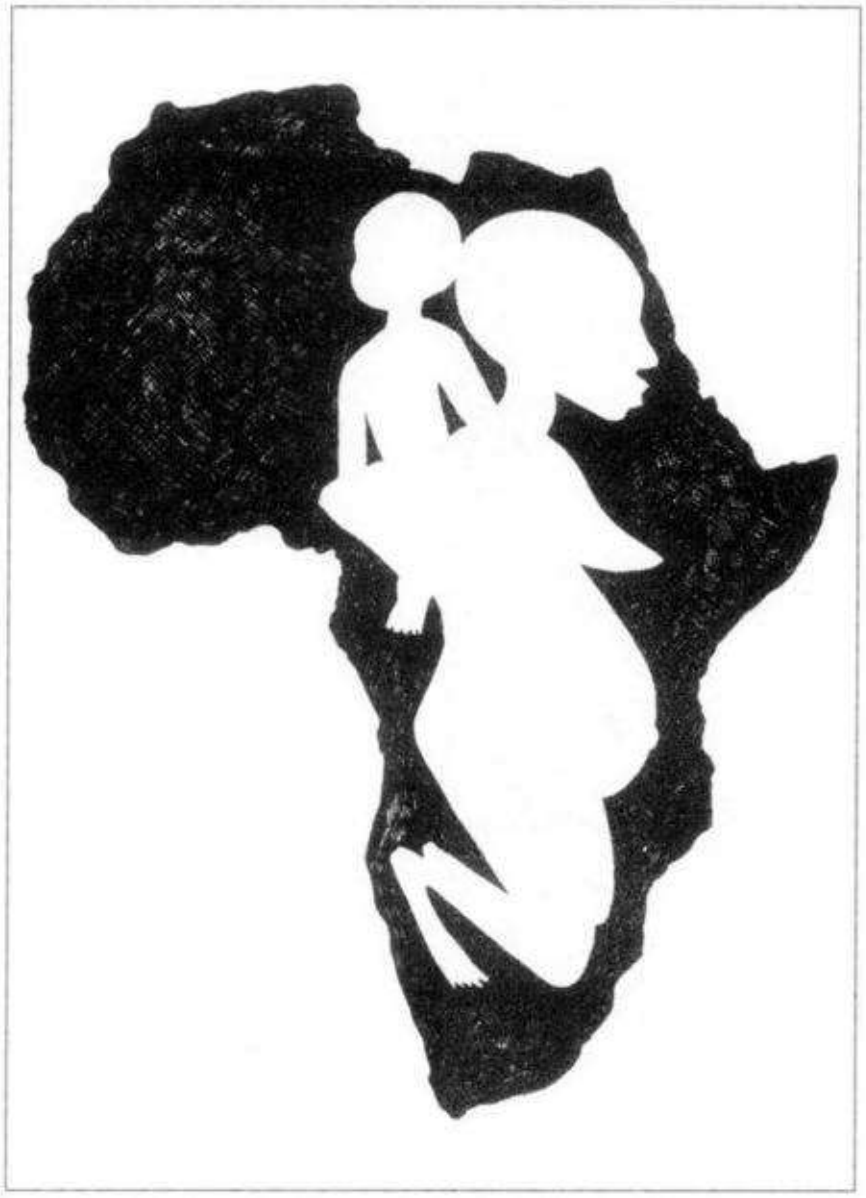
و اکنون برسیم به نکته‌ای که تمام این مقدمات را برای آن ارائه نمودم. در صورتی که تفاوت بین افراد ناشی از ژن باشد (این میزان ممکن است کم یا زیاد باشد)، انتخاب طبیعی می‌تواند نسبت به برخی خصلت‌های خاص اریگامی جنین‌شناسی یا شیمی جنین‌شناسی نظر مساعد داشته باشد و از پذیرش بقیه سر باز زند. در صورتی که دست شما که توپ بیس‌بال را پرتاب می‌کند از ژن تأثیر گرفته باشد، انتخاب طبیعی می‌تواند نسبت به آن نظر مساعد یا نامساعد داشته باشد. اگر توانایی پرتاب شیء تاثیری هر چند ناچیز بر احتمال بقای فرد تا زمان بچه‌دار شدن داشته باشد، در صورتی که توانایی پرتاب تحت تأثیر ژن باشد، آن ژن به همان نسبت شانس بیشتری برای رسیدن به نسل بعد خواهد داشت. هر کس ممکن است به دلایلی که هیچ ارتباطی با توانایی وی برای پرتاب با دست ندارد، بمیرد. اما ژنی که اغلب باعث می‌شود افراد در صورت وجودش نسبت به نبود آن، عملکرد بهتری در پرتاب با دست داشته باشند، در بدن‌های فراوانی، هم خوب و هم بد، طی نسل‌های متمادی وجود خواهد داشت. از نقطه‌نظر این ژن خاص، دیگر دلایل مرگ نسبتی برابر خواهند داشت. از دید این ژن تنها

---

turpentine ۱
thalidomide ۲

دورنمایی بلندمدت از رود دی‌ان‌ای موجود است، رودی که در خلال نسل‌ها جریان دارد، تنها به صورت موقت در بدن‌هایی خاص اقامت می‌کند، تنها به صورت موقت یک بدن را با ژن‌های همنشین شریک می‌شود، شراکتی که ممکن است موفق و یا ناموفق باشد.

در درازمدت، این رودخانه مملو از ژن‌هایی می‌شود که به دلایل متعدد در بقاء موفق هستند، دلایلی چون: افزایش هر چند اندک توانایی پرتاب نیزه، افزایش توانایی چشیدن سم، یا دلایل مشابه دیگر. ژن‌هایی که به طور نسبی در بقاء کمتر موفقند (به خاطر اینکه در بدن‌های متوالی، باعث بروز دید آستیگمات می‌شوند، و در نتیجه این بدنها در پرتاب نیزه چندان موفق نیستند؛ یا به خاطر اینکه جذابیت ظاهری را در بدن‌های متوالی کاهش داده و در نتیجه شانس جفت‌گیری آنها را کمتر می‌کنند)، اینگونه ژن‌ها اغلب از رود ژن‌ها حذف می‌شوند. در این مورد، نکته‌ای را که قبلتر مطرح کردیم، به خاطر بیاورید: ژن‌هایی که در رود ژن باقی می‌مانند آنهایی خواهند بود که قابلیت بقا در محیط متوسط آن گونه را داشته باشند، و شاید مهمترین جنبه این محیط متوسط، دیگر ژن‌های آن گونه است، ژن‌هایی که احتمال دارد ژنی از یک بدن را با آنها شریک شود؛ ژن‌هایی که در ادوار زمین‌شناسی در رودی مشترک شنا می‌کنند.



فصل دوم
تمام آفریقا و نوادگانش

برخی علم را تنها به مثابه افسانه مدرن آغازِ حیات قلمداد می‌کنند. ادیان ابراهیمی، افسانه «آدم و حوا»، سومریان، «مردوک و گیلگامش[۱]»، یونانیان، «زئوس و خدایان کوه المپ»، و اهالی اسکاندیناوی «تالار اودین[۲]» را داشتند. برخی افراد زرنگ می‌گویند، تکامل چیزی جز معادلی مدرن برای خدایان و قهرمانان اساطیری نیست، نه بهتر نه بدتر، نه درست‌تر و نه غلط‌تر. فلسفه‌ای عامه‌پسند به نام «نسبی‌گرایی فرهنگی» وجود دارد که معتقد است، علم، در افراطی‌ترین شکل خود، ادعایی بیشتر از افسانه‌های قبایل باستان برای مطرح کردن ندارد: علم تنها اسطوره محبوب قبیله دنیای مدرن غرب است. یکبار یکی از همکاران انسان‌شناسم باعث شد موضوع را به این صورت صریح با او مطرح کنم: فرض کن قبیله‌ای وجود دارد که افرادش معتقدند ماه یک کدوی گرد است که به داخل آسمان پرتاب شده و در جایی که کسی دستش به آن نمی‌رسد، بر فراز درختان آویزان است. آیا واقعاً ادعا می‌کنی که حقیقت علمی ما، که ماه حدود ربع میلیون مایل از ما دور است و قطرش یک چهارم قطر زمین است، صحیح‌تر از افسانه کدوی آن قبیله نیست؟ انسان‌شناس گفت: «البته». «ما در فرهنگی بزرگ شده‌ایم که به دنیا از زاویه علم نگاه می‌کند. آنها به دنیا از زاویه‌ای متفاوتی نگاه می‌کنند. هیچکدام نسبت به دیگری صحیح‌تر نیست.»

اگر یک نسبی‌گرای فرهنگی را در ارتفاع سی‌هزار پایی در هواپیما دیدید، بدانید با یک آدم دورو مواجه هستید. هواپیماها کار می‌کنند چون براساس اصول علمی ساخته شده‌اند. در آسمان پرواز می‌کنند و شما را به مقصد دلخواه‌تان می‌رسانند. اگر هواپیما را مطابق با دستورالعمل قبیله‌ای یا اسطوره‌ای بسازیم، مانند هواپیماهای ماکتی که قبایل جزایر ملانزی به امید نزول موهبات آسمانی در زمین‌های صاف‌شده داخل جنگل‌ها می‌گذاشتند یا بال‌های مومی ایکاروس، این هواپیما از زمین بلند نخواهند شد.[۳] اگر با هواپیما به کنگره بین‌المللی انسان‌شناسان یا منتقدان ادبی بروید، دلیل رسیدن شما به آنجا و اینکه در وسط راه به داخل یک مزرعه سقوط

---

۱ Gilgamesh and Marduk

۲ Valhalla

۳ این اولین باری نیست که از این استدلال کوبنده استفاده می‌کنم، و باید تأکید کنم به طور خاص برای افرادی که مانند همکار کدویی من فکر می‌کنند، به آن متوسل می‌شوم. افراد دیگری هستند که به اشتباه خود را نسبی‌گرای فرهنگی می‌نامند، اما دیدگاه آنان کاملاً متفاوت و بسیار منطقی است. برای آنها، نسبی‌گرایی فرهنگی صرفاً به این معنا است که اگر سعی کنید باورهای یک فرهنگ را براساس فرهنگ خود تعبیر نمایید، نمی‌توانید آن فرهنگ را درک کنید. شما باید هر یک از باورهای آن فرهنگ را در بافتار باورهای دیگر آن فرهنگ ببینید. من گمان می‌کنم این شکل معقول از نسبی‌گرایی فرهنگی، نسخه اصلی آن است، و شکلی که من مورد انتقاد قرار دادم، با اینکه به میزان نگران‌کننده‌ای رایج است، نمونه‌ای تحریف‌شده باشد. نسبی‌گرایان منطقی باید تلاش بیشتری داشته باشند تا خود را از نوع احمقانه آن دور کنند.

نکردید، این است که بسیاری از مهندسان آموزش‌دیده به روش عملی غربی کارشان را درست انجام داده‌اند. علم غربی، با اتکا به ادله صحیحی که نشان می‌دهد ماه با فاصله یک ربع میلیون مایل دورتر به دور زمین می‌چرخد، به مدد استفاده از کامپیوترها و موشک‌های طراحی‌شده غربی، توانست انسان را بر سطح آن فرود آورد. علم قبیله‌ای، که باور می‌کند ماه تنها اندکی بالاتر از نوک درختان آویزان است، هیچگاه نخواهد توانست حتی آنرا لمس کند مگر در خواب و خیال.

به ندرت پیش می‌آید در سخنرانی‌های عمومی‌ام، یکی از حضار مطلبی را مشابه با ادعای همکار انسان‌شناسم مطرح نکند، و معمولاً بسیاری از حاضرین نیز سر خود را به نشانه تأیید تکان می‌دهند. بی‌شک تأییدکنندگان از لیبرال بودن و نژادپرست نبودن خود حس خوبی پیدا می‌کنند. یکی از صحبت‌هایی که معمولاً تأیید بسیار بیشتری را برمی‌انگیزد این ادعاست که «اساساً، باور شما از تکامل همانند باوری دینی است و بنابراین برتر از باور دیگران در مورد باغ عدن نیست.»

هر قبیله‌ای افسانه آغاز جهان خود را داشته است - داستانی که روایت‌کننده عالم، حیات و انسانیت است. علم در یک معنا، حداقل برای بخش تحصیل‌کرده جامع مدرن ما، حقیقتاً چیزی همانند این را ارائه می‌دهد. علم را حتی می‌توان به عنوان یک دین توصیف کرد، و من، نه فقط از روی مزاح، استدلال مختصری در خصوص گنجاندن علم به عنوان یک موضوع درسی مناسب برای کلاس‌های آموزش دینی مطرح نموده‌ام.[1] (در بریتانیا، آموزش دینی بخشی اجباری از برنامه درسی مدارس است، برخلاف ایالات متحده که به خاطر ترس از رنجاندن احساسات ادیان متعدد و گاه متضاد، آموزش دینی ممنوع است.) علم و مذهب هر دو مدعی هستند به سوالات عمیق در خصوص آغاز هستی، ماهیت زندگی و کائنات پاسخ می‌دهند. اما شباهت آنها در همینجا به پایان می‌رسد. باورهای علمی با شواهد و ادله حمایت شده و نتیجه می‌دهند. افسانه‌ها و اعتقادات دینی اینگونه نبوده و چنین نمی‌کنند.

از میان تمام افسانه‌های پیدایش جهان، داستان یهودی باغ عدن چنان در فرهنگ ما فراگیر شده است که یک نظریه مهم علمی درمورد نیاکان ما، یعنی نظریه «حوای آفریقایی»، نیز نام خود را از آن گرفته است. من این فصل را به حوای آفریقایی اختصاص داده‌ام، تا اندازه‌ای به این دلیل که من را قادر می‌سازد استعاره رود دی‌ان‌ای را بهتر شرح و بسط دهم، در عین حال قصد دارم به عنوان یک فرضیه علمی[2]، آنرا با مادرسالار افسانه‌ای باغ عدن مقایسه کنم. اگر در این امر موفق شوم، حقیقت برای شما جالب‌تر و حتی شاید شاعرانه‌تر از اسطوره خواهد بود. ابتدا با تمرینی در باب استدلال محض آغاز می‌کنیم. به زودی ارتباط آن برای شما مشخص خواهد شد.

---

۱ مجله *Spectator The* (لندن)، ۶ آگوست ۱۹۹۴.

۲ hypothesis scientific

شما دو والد، چهار پدربزرگ و مادربزرگ، هشت جد و الی آخر دارید. تعداد نیاکان در هر نسل دوبرابر می‌شود. در نسل gام، تعداد نیاکان برابر است با ۲ ضربدر خودش به تعداد g بار: به عبارت دیگر ۲ به توان g. حتی بدون بررسی عملی، به سرعت می‌توان اشتباه بودن این نکته را متوجه شد. برای اینکه خود را در این مورد مجاب کنیم، فقط باید کمی به عقب بازگردیم - به عنوان مثال به دوران عیسی، تقریباً حدود دوهزار سال قبل. اگر محتاطانه فرض کنیم در هر قرن چهار نسل وجود دارد - یعنی افراد به طور متوسط در سن بیست و پنج سالگی بچه‌دار شوند - دو هزار سال فقط شامل هشتاد نسل خواهد بود. رقم واقعی احتمالاً از این بیشتر باشد (تا همین اواخر، بسیاری از زنان در سن بسیار پایینی بچه‌دار می‌شدند)، اما این تنها یک محاسبه تخمینی است و در اینجا جزییات مهم نیست. دو ضربدر خودش به تعداد ۸۰ بار عدد بسیار بزرگی است، یعنی ۱ با ۲۴ صفر در جلوی آن یا یک تریلیون تریلیون. شما یک میلیون میلیون میلیون میلیون نیاکان داشته‌اید که همه معاصر عیسی بوده‌اند و من هم همینطور! اما جمعیت جهان در آن زمان تنها کسری از کسر کوچک تعداد نیاکانی بوده که در بالا محاسبه کردیم.

واضح است که ما در جایی اشتباه محاسبه کرده‌ایم، اما در کجا؟ محاسبه ما صحیح بود. تنها چیزی که اشتباه کردیم فرض ما درمورد دوبرابرشدن در هر نسل بود. در واقع، ما فراموش کردیم که خویشاوندان هم با یکدیگر ازدواج می‌کنند. فرض ما این بود که هر کدام از ما دارای هشت جد بزرگ هستیم. اما هر کودک حاصل از ازدواج عموزاده‌ها (عمه‌زاده‌ها و غیره) تنها شش جد بزرگ دارد، زیرا پدر و مادربزرگ مشترک عموزاده‌ها از دو جهت مختلف جد آن کودک هستند. ممکن است بپرسید: «خوب، که چی؟» افراد گاهی با خویشان خود ازدواج می‌کنند (مانند چارلز داروین، و همسرش اما وج‌وود)، اما آیا ازدواج‌های خانوادگی به تعداد کافی رخ می‌دهد که تفاوتی ایجاد کند؟ جواب مثبت است، زیرا منظور از «خویشاوند» در اینجا اقوام درجه دو، درجه پنج، درجه شش و الی آخر است. هنگامی که ازدواج بین خویشاوندان دور را در نظر بگیرید، هر ازدواج یک ازدواج فامیلی خواهد بود. شاید شنیده باشید برخی افراد خود را خویشاوند دور ملکه انگلستان می‌دانند و به آن می‌بالند، اما این ادعا تا حدی اغراق‌آمیز است، زیرا ما همه خویشاوند دور ملکه و هر شخص دیگری که در نظر بگیرید، به شمار می‌آییم. تنها نکته خاص درمورد خاندان سلطنتی و اشراف این است که آنها می‌توانند شجره‌نامه خود را صریحاً مشخص کنند. وقتی آقای *ویلسون*، رقیب سیاسی «*ارل چهاردهم هوم*[1]» (ارل عنوانی اشرافی در انگلستان است) عنوان او را مورد تمسخر قرار داد، ارل در پاسخ گفت: «وقتی خوب فکر کنید، آقای ویلسون در اصل آقای ویلسون چهاردهم است.»

نتیجه تمام این بحث‌ها این است که ما بیش از آنچه معمولاً فکر می‌کنیم با همدیگر خویشاوند هستیم، و نیاکان بسیار کمتری از آنچه محاسبات ابتدایی نشان می‌دهد، داریم. یک بار برای اینکه استدلال یکی

---

۱ Home of Earl fourteenth

از دانشجویان را در این مورد بدانم، از او خواستم برمبنای حدس علمی خود بگوید نزدیک‌ترین نیای مشترک من و او احتمالاً چه مدت قبل زندگی می‌کرده است. او هم به چشمان من خیره شد و بی‌درنگ با لهجه روستایی و آرام خود گفت: «زمانی که میمون بودند». این پاسخ غیرارادی قابل‌توجیه اما تقریبا ده هزار درصد اشتباه است. زیرا متضمن میلیون‌ها سال فاصله زمانی است. واقعیت این است که نزدیک‌ترین نیای مشترک من و او احتمالاً در همین چند صد سال اخیر مدتی پس از ویلیام فاتح[1] (پادشاه اهل نورماندی فرانسه، ۸۷-۱۰۲۷، که انگلستان را فتح کرد) زندگی می‌کرده است. علاوه بر این، ما مطمئناً همزمان از چند سوی مختلف با هم خویشاوند بوده‌ایم.

مدل تبارشناسی که به این برآورد مبالغه‌آمیز و اشتباه در تعداد نیاکان منجر می‌شود شجره‌نامه‌ای با انشعابات مکرر و پی‌درپی است. اگر آنرا سر و ته کنیم، یک مدل درختی از نوادگان خواهیم داشت که به همان اندازه اشتباه است. یک فرد معمولی دو فرزند، چهار نوه، هشت نتیجه دارد و به همین منوال پس از تنها چند قرن احتمالاً تریلیون‌ها نواده خواهد داشت که غیرممکن است. یک مدل بسیار واقع‌گرایانه‌تر از نیاکان و نوادگان رودخانه جاری ژن‌هاست، که در فصل قبل معرفی نمودیم. ژن‌ها در محدوده کرانه‌های این رود در طول زمان جریانی پیوسته دارند. جریان‌ها از هم دور شده و مجدداً با تقاطع مسیر ژن‌ها در پایین دست رود زمان، به هم می‌پیوندند. اگر از نقاط مختلفی در مسیر این رود سطل‌های نمونه بردارید، زوج مولکول‌هایی در یک سطل قبلاً، در فواصلی در طول مسیر رود، با هم همراه بوده و بار دیگر هم همراه خواهند بود. همچنین در گذشته زمانی بسیار از هم دور بوده و در آینده نیز دوباره از هم دور خواهند شد. ردیابی نقاط تماس دشوار است، اما از نظر ریاضیاتی می‌توان اطمینان داشت که تماس رخ می‌دهد و اطمینان داشت که اگر دو ژن در یک نقطه خاص با هم تماس ندارند لازم نیست مسافت زیادی را در جهت بالا یا پایین رودخانه طی کنیم تا تلاقی دوباره آنها را ببینیم.

ممکن است ندانید که خویشاوند دور شوهرتان هستید، اما از لحاظ آماری احتمال دارد لازم نباشد در نیاکان خود خیلی عقب بروید تا پیوندی را با اعقاب وی پیدا کنید. اگر به جهت دیگر و به آینده نگاه کنید، به صراحت می‌توان گفت شما و همسرتان شانس بالایی برای داشتن نوادگان مشترک دارید. اما در اینجا تخیل جالب‌تری را می‌توان داشت. دفعه بعد که بین گروه بزرگی از افراد بودید، به عنوان مثال در یک سالن کنسرت یا در یک مسابقه فوتبال، نگاهی به تماشاگران بیاندازید و در این مورد تأمل کنید: اگر در آینده‌ای دور، نواده‌ای داشته باشید، احتمال دارد کسانی در بین حاضرین در سالن یا استادیوم باشند که بتوانید دست‌شان را به عنوان نیاکان مشترک نوادگان آینده خود بفشارید. پدربزرگان یا مادربزرگان یک کودک معمولاً می‌دانند که آنها نیاکان مشترک هستند، و این مسئله چه از نظر شخصی با هم کنار بیایند یا کنار نیایند، به آنها احساس نزدیکی خاصی

---

۱ William the Conqueror

می‌دهد. می‌توانند به یکدیگر نگاه کنند و بگویند: «خوب، ممکن است خیلی از او خوشم نیاید، ولی دی‌ان‌ای او با دی‌ان‌ای من در نوه مشترک‌مان مخلوط شده است و می‌توانیم امید داشته باشیم که در آینده، مدت‌های مدیدی پس از مرگ‌مان، نوادگان مشترکی داشته باشیم. این موضوع حتماً بین ما پیوند مشترک ایجاد می‌کند.» اما نکته مدنظر من این است که اگر اساساً آنقدر خوش‌شانس هستید که در آینده نوادگانی داشته باشید، بعضی از غریبه‌هایی که در سالن کنسرت هستند احتمالاً نیاکان مشترک نوادگان شما خواهند بود. می‌توانید حضار در تالار را بررسی کرده و درمورد اینکه برای کدامیک از آنها، چه زن و چه مرد، مقدر شده است که نوادگان مشترکی با شما داشته باشند یا نداشته باشند، گمانه‌زنی کنید. من و شما نیز، هر که باشید و هر رنگ و جنسیتی داشته باشید، ممکن است نیاکان مشترک باشیم. ممکن است تقدیر دی‌ان‌ای شما ترکیب با دی‌ان‌ای من باشد. عرض ادب می‌کنم!

اکنون فرض کنید در یک ماشین زمان به گذشته سفر می‌کنیم، شاید به جمعی در آمفی‌تئاتر روم باستان، یا دورتر، به بازاری در شهر اور عراق، یا حتی قبل‌تر. درست مانند جمعیت حاضر در کنسرت مدرن، این جمعیت را بررسی کنید. متوجه هستید که این افراد درگذشته را می‌توانید به دو و فقط دو گروه تقسیم کنید: آنهایی که نیاکان شما هستند و آنهایی که نیاکان شما نیستند. این مسئله به اندازه کافی بدیهی است اما اکنون به واقعیتی درخور توجه می‌رسیم. اگر ماشین زمان شما را به اندازه کافی به عقب برده باشد، می‌توانید افرادی را که ملاقات می‌کنید به دو دسته تقسیم کنید، افرادی که نیاکان تمامی انسانهایی هستند که در سال ۱۹۹۵ زندگی می‌کردند و کسانی که نیاکان هیچیک از آنها نیستند. حد وسطی وجود ندارد. هر کس که هنگام خروج از ماشین زمان چشمتان به او می‌افتد یا یک جد جهانی انسان‌هاست یا نیای هیچکس نیست.

این تصور جالبی است، اما اثبات آن بسیار ساده و پیش‌پاافتاده است. تنها کاری که لازم است انجام دهید این است که ماشین زمان ذهن خود را به زمانی بسیار بسیار قبل‌تر ببرید: مثلاً سیصد و پنجاه میلیون سال قبل، هنگامی که نیاکان ما ماهی‌های گوشتی‌باله شُش‌دار بودند، که از آب بیرون آمده و تبدیل به دوزیستان شدند. اگر یک ماهی خاص، نیای من باشد، قابل قبول نیست که نیای شما هم نباشد. اگر نبود، معنی ضمنی آن این می‌شد که تباری که به شما منجر شد و تباری که به من منجر شد به صورت مجزا، بدون تماس با هم، از ماهیان متفاوتی تکامل یافتند و بعد به دوزیستان، خزندگان، پستانداران، نخستیان، میمون‌ها و انسان‌ها تبدیل شدند و در نهایت چنان شباهتی پیدا کردند که اکنون می‌توانیم با هم صحبت کنیم و اگر از جنس مخالف بودیم با هم ازدواج کنیم و بچه‌دار شویم. آنچه که درمورد من و شما صحیح است درمورد هر زوج انسان دیگری نیز صحیح است.

ما اثبات کردیم اگر به اندازه کافی بتوانیم در زمان عقب برویم، هر کسی که با او برخورد کنیم باید یا نیای همه ما باشد یا نیای هیچکدام از ما نباشد. اما چقدر باید به عقب برویم تا کافی باشد؟ مطمئناً نیازی نیست به دوران ماهی‌های گوشتی‌باله بازگردیم - آنرا فقط به عنوان *برهان خلف* مطرح کردم - اما باید چقدر به عقب

بازگردیم تا به نیای جهانی تمام انسان‌هایی که امسال زنده هستند، برسیم؟ این سوال بسیار سخت‌تری است و در ادامه می‌خواهم به آن بپردازم. به این سوال نمی‌توان در حالی که روی صندلی راحتی لم داده‌ایم پاسخ داد. ما نیاز به اطلاعات و اندازه‌گیری‌های واقعی از دنیای سخت‌گیر واقعیات دقیق داریم.

سر *رونالد فیشر*[۱]، وراثت‌شناس[۲] و ریاضیدان حاذق انگلیسی، که می‌توان وی را بزرگترین جانشین داروین در قرن بیستم و نیز پدر آمار مدرن به حساب آورد، در سال ۱۹۳۰ اینگونه می‌گوید:

تنها موانع جغرافیایی و سایر موانع نزدیکی جنسی بین نژادهای مختلف بوده که باعث شده است کل نژاد انسان، نتواند زودتر از چند هزار سال قبل، نیایی مشترک داشته باشد. اگر به قبل‌تر از ۵۰۰ سال اخیر برویم، نیاکان اعضای یک ملت واحد تفاوت اندکی می‌توانند داشته باشند؛ در ۲۰۰۰ سال قبل، به نظر می‌رسد تنها تفاوت‌های باقیمانده تفاوت‌های بین نژادهای قومی متمایز خواهد بود؛ این تفاوت‌ها قطعاً ممکن است بی‌نهایت باستانی باشند؛ اما این مسئله تنها در صورتی می‌تواند صحیح باشد که اختلاط خونی بین گروه‌های جداشده برای ادوار طولانی رخ نداده باشد.

در مورد استعاره رود، فیشر در واقع به این واقعیت اشاره دارد که ژن‌های کلیه افراد یک نژاد که در یک منطقه واحد جغرافیایی زندگی می‌کنند، در یک رودخانه واحد به سمت نسل‌های بعدی جریان دارند. اما هنگامی که اعدادی را که مطرح می‌کند در نظر بگیریم - پانصد سال، دو هزار سال، قدمت باستانی جدایی نژادهای مختلف - آنگاه باید گفت حدس‌های فیشر، حدس‌هایی علمی و فکرشده بوده است. اطلاعات مربوطه در زمان وی دردسترس نبود. امروزه با کمک انقلاب بیولوژی مولکولی، بیش از حد به اطلاعات دسترسی داریم. بیولوژی مولکولی بود که مفهوم جذاب حوای آفریقایی را به ما عرضه داشت.

رود دیجیتال تنها استعاره بکاررفته در اینجا نیست. تشبیه دی‌ان‌ای موجود در هر یک از ما به یک انجیل خانوادگی (که زادروزها، مرگ‌ها و سایر اتفاقات خانوادگی را در آن می‌نویسند)، وسوسه‌برانگیز است. همانگونه که در فصل پیش دیدیم، دی‌ان‌ای قطعه متنی بسیار طولانی است که با یک الفبای چهارحرفی نگاشته شده است. حروف آن به دقت از نیاکان ما و فقط هم از نیاکان ما، با وفاداری قابل‌ملاحظه‌ای حتی نسبت به نیاکان بسیار دور، نسخه‌برداری شده است. با مقایسه متون حفظ‌شده در افراد مختلف، باید امکان بازسازی رابطه خویشاوندی آنها و رسیدن به یک نیای مشترک وجود داشته باشد. خویشاوندان دور، که دی‌ان‌ای آنها زمان بیشتری برای واگرایی داشته است، به عنوان مثال، نروژی‌ها و بومیان استرالیا، باید واژگان متفاوت بیشتری

---

۱ Fisher Ronald Sir

۲ geneticist

داشته باشند. محققان این کار را در مورد نسخه‌های مختلف اسناد کتاب مقدس انجام می‌دهند. متأسفانه، در ارتباط با آرشیوهای دی‌ان‌ای، یک مشکل کوچک وجود دارد. آمیزش جنسی.

آمیزش جنسی حکم کابوس یک متصدی آرشیو را دارد. آمیزش جنسی به جای اینکه متون نیاکان را بجز خطاهای موردی غیرقابل‌اجتناب، دست‌نخورده باقی بگذارد، با بی‌مبالاتی و به شدت حمله کرده و مدرک را از بین می‌برد. کاری که آمیزش جنسی با آرشیو دی‌ان‌ای می‌کند، هیتلر با بشریت نکرد. چیزی مانند آن در مطالعات کتاب مقدس وجود ندارد. مسلماً، یک محقق که تلاش دارد به عنوان مثال منبع کتاب غزل‌های سلیمان را پیدا کند، می‌داند این کتاب با آنچه به نظر می‌رسد، متفاوت است. کتاب غزل‌ها دارای متونی ازهم‌گسیخه است که نشان می‌دهد این کتاب در واقع تکه‌هایی از اشعار مختلف با تعدادی اشعار شهوانی بوده که به هم الصاق شده‌اند. این کتاب حاوی اشتباهات و جرح و تعدیلاتی به خصوص در ترجمه است. «روبهان، روبهان کوچک که تاکستان‌ها را خراب می‌کنند، به نزد ما بیاورید.» یک ترجمه اشتباه است، حتی اگر تکرار آن در طول یک عمر به آن جذابیت احساسی داده باشد. احتمال کمی وجود دارد نسخه صحیح‌تر آن («خفاش‌های میوه‌خوار را برای ما بگیر، خفاش‌های میوه‌خوار کوچک...») از این لحاظ به پای آن برسد .

بنگر که زمستان گذشت، موسم باران به سر رسید و رفت. گل‌ها همه سو شکفته‌اند؛ هنگام نغمه پرندگان فرا رسیده، و آوای لاک‌پشت‌ها در ولایت ما به گوش می‌رسد.

این شعر آنقدر مسحورکننده است که حیفم می‌آید آنرا با ذکر این نکته که بی‌تردید اینجا هم در شعر جرح و تعدیل رخ داده، ضایع کنم. اگر در نسخه انگلیسی «dove» را پس از «turtle» وارد کنیم، همانگونه که ترجمه‌های مدرن به درستی اما به طرزی ثقیل انجام داده‌اند، وزن شعر به کلی به هم خواهد ریخت. اما هنگامی که اسناد به جای اینکه با دستگاه‌های چاپ در تیراژ هزاران نسخه تکثیر شوند یا بر روی دیسک‌های کامپیوتری ذخیره شوند، به دست انسان جایزالخطا از روی کاغذهای پاپیروس کمیاب و آسیب‌پذیر رونویسی شوند، بروز خطاهای جزیی و تنزل کیفیت مختصر و غیرقابل‌اجتناب دور از انتظار نیست.

اما اجازه دهید به آمیزش جنسی بپردازیم. (خیر، در معنایی که من مدنظر دارم، آمیزش جنسی وارد غزل‌های سلیمان نمی‌شود.) آمیزش جنسی، در معنایی که مدنظر من است، برابر است با پاره‌کردن نیمی از یک سند، به صورت بخش‌هایی از متن که بطور تصادفی انتخاب شده‌اند، و ترکیب آن با نیمه‌ی سلاخی‌شده و مکمل از سندی دیگر. گرچه باورنکردنی و مانند یک خرابکاری به نظر می‌رسد، اما این دقیقاً همان چیزی است که هر بار یک سلول جنسی ساخته می‌شود، رخ می‌دهد. به عنوان مثال، هنگامی که مرد یک سلول اسپرم می‌سازد، کروموزم‌هایی که از پدرش به ارث برده، با کروموزوم‌هایی که از مادر به او رسیده است، جفت می‌شوند و تکه‌های بزرگی از آنها جای خود را با هم عوض می‌کنند. کروموزم‌های یک کودک ملغمه درهم‌ریخته و غیرقابل‌بازیافتی از کروموزم‌های مادربزرگ‌ها و پدربزرگ‌ها، اجداد و نیاکان دور اوست. حروف و شاید کلمات متونی که بعدها به متون کهن تبدیل خواهند شد، ممکن است در نسل‌های متوالی دست‌نخورده باقی بمانند. اما فصل‌ها، صفحات،

حتی پاراگراف‌ها با چنان مهارت بی‌رحمانه‌ای تکه‌پاره شده و دوباره به هم متصل می‌شوند که دیگر برای پژوهش تاریخی تقریباً بلااستفاده اند. هرجا به تاریخچه نیاکان مربوط می‌شود، آمیزش جنسی سرپوش بسیار خوبی است.

هر جا از عدم دخالت آمیزش جنسی آسوده خاطر باشیم، می‌توانیم از آرشیوهای دی‌ان‌ای برای بازسازی تاریخی استفاده کنیم. دو مثال مهم را می‌توانم به خاطر آورم. یکی حوای آفریقایی است که بعداً به آن خواهم پرداخت. مورد دیگر بازیابی نیاکان دورتر با نگاه کردن به روابط بین گونه‌ها به جای روابط درون آنهاست. همانطور که در فصل قبل دیدیم، ترکیب جنسی تنها درون گونه‌ها رخ می‌دهد. هنگامی که یک گونه دختر از گونه والدین جدا می‌شود، رود ژن‌ها به دو شاخه منشعب می‌شود. پس از اینکه این دو انشعاب به مدت کافی از هم دور شدند، ترکیب جنسی در داخل هر رود، بدون اینکه مانعی برای متصدی آرشیو ژنتیکی باشد، در واقع به بازیابی تبار و خویشاوندی در بین اعضای گونه کمک می‌کند. تنها در خویشاوندی درون گونه‌ها است که آمیزش جنسی مدرک را مخدوش می‌کند. در خویشاوندی بین گونه‌ها، آمیزش جنسی مفید است زیرا اغلب به صورت خودبخود تضمین می‌کند هر فرد نمونه ژنتیکی مناسبی از کل گونه باشد. مهم نیست سطل را از کجای رودی که آب آن به خوبی درهم آمیخته، بیرون می‌کشید؛ در هر حال سطل نمونه آب آن رود خواهد بود.

متون دی‌ان‌ای که از گونه‌های مختلف نمونه‌برداری شده نیز با موفقیت زیاد، حرف به حرف، مقایسه شده‌اند تا شجره‌نامه گونه‌ها تهیه شود. براساس یک مکتب فکری تأثیرگذار، حتی امکان مشخص‌کردن تاریخ انشعاب‌ها نیز وجود دارد. این امکان از نظریه بحث‌انگیز «ساعت مولکولی» نشأت می‌گیرد: این فرض که در هر بخشی از متن ژنتیکی جهش با سرعتی ثابت در هر یک میلیون سال رخ می‌دهد. به زودی به فرضیه ساعت مولکولی باز خواهیم گشت.

طول «پاراگراف» در ژن‌هایی که پروتئینی موسوم به سیتوکروم C[۱] را توصیف می‌کنند، ۳۳۹ حرف است. تغییر دوازده حرف، سیتوکروم C انسان را از سیتوکروم C اسب، خویشاوندان نسبتاً دور ما، جدا می‌کند. تنها تغییر یک حرف سیتوکروم C انسان را از میمون (خویشاوند نسبتاً نزدیک ما)، تغییر یک حرف اسب را از الاغ (خویشاوندان بسیار نزدیک آنها)، و تغییر سه حرف اسب را از خوک (خویشاوند نسبتاً دور آنها) جدا می‌کند. چهل و پنج تغییر انسان را از مخمر و همان تعداد تغییر، خوک را از مخمر جدا می‌کند. برابر بودن این دو عدد خیلی عجیب نیست، زیرا اگر رودی که به انسان ختم می‌شود را در جهت خلاف جریان به سمت بالا برویم، جاییکه این رود به رود خوک می‌پیوندد از نظر زمانی نزدیکتر از جایی است که رود مشترک انسان و خوک به رود مخمر می‌پیوندد. اما اندکی تفاوت در این اعداد وجود دارد. تعداد تغییر حرف در سیتوکروم C که اسب را از مخمر جدا می‌کند در واقع چهل و پنج نیست بلکه چهل و شش است. این بدان معنا نیست که خوک نسبت به

---

۱ c cytochrome

اسب خویشاوندان نزدیک‌تری به مخمر است. نزدیکی آن به مخمر دقیقاً به اندازه نزدیکی همه مهره‌داران و البته کلیه حیوانات به مخمر است. احتمالاً یک تغییر اضافی از زمان جدیدترین نیای مشترک اسب و خوک، به تدریج به مسیر منتهی به اسب وارد شده است. این مسئله چندان اهمیت ندارد. در مجموع، تعداد تغییر حرف سیتوکروم C که باعث جدایی هر جفت موجود زنده می‌شود تقریباً همان چیزی است که ما از ایده قبلی الگوی انشعاب شاخه‌های درخت تکامل انتظار داریم.

همانطور که اشاره شد، طبق نظریه ساعت مولکولی، سرعت تغییر یک تکه خاص از متن در هر میلیون سال تقریباً ثابت است. احتمالاً حدود نیمی از چهل و شش تغییر حرف سیتوکروم C که اسب را از مخمر جدا می‌کند، در طول مدت تکامل از نیای مشترک تا اسب‌های امروزی و حدود نیمی دیگر در طول مدت تکامل از نیای مشترک تا مخمر امروزی رخ داده است (مشخص است که دو مسیر تکامل دقیقاً همان تعداد میلیون سال را تا به انجام رسیدن طی کرده‌اند). در ابتدا تصور این مسئله عجیب به نظر می‌رسد. به هر حال احتمال زیادی وجود دارد که نیای مشترک بیشتر شبیه مخمر بوده است تا اسب. حل این مسئله در فرضیه‌ای که اولین بار وراثت‌شناس برجسته ژاپنی، *موتو کیمورا*[1]، مطرح نمود نهفته است. براساس این فرضیه که بیش از پیش مورد پذیرش قرار گرفته است، بخش اعظم متن‌های ژنتیکی می‌توانند آزادانه بدون اینکه معنای متن تحت تأثیر قرار بگیرد، تغییر کنند.

یک مقایسه خوب تغییر سبک فونت حروف در یک جمله چاپی است. «**اسب** یک **پستاندار** است.» «**مخمر** یک **قارچ** است.» در این جملات با اینکه هر یک از کلمات با سبک فونت متفاوتی نوشته شده است، معنای جملات کاملاً واضح و مشخص است. در اثنای گذشت میلیون‌ها سال، ساعت مولکولی همسان با تغییرات بی‌معنی قلم متن، زمان را شمارش می‌کند. تغییراتی که تابع انتخاب طبیعی هستند و آنهایی که تفاوت بین اسب و مخمر را توصیف می‌کنند - یعنی تغییر در *معنای* جمله - نوک کوه یخ هستند.

برخی از مولکول‌ها دارای نرخ زمانی بیشتری هستند. سیتوکروم C با سرعت نسبتاً کمتری دچار تکامل می‌شود: حدود یک حرف در هر بیست و پنج میلیون سال. شاید به این دلیل که اهمیت حیاتی سیتوکروم C برای بقای یک موجود زنده به شدت به شکل دقیق آن وابسته است. انتخاب طبیعی اغلب تحمل تغییر در مولکول‌هایی با شکل بسیار حساس را ندارد. سایر پروتئین‌ها، مانند فیبرینوپپتیدها[2]، علیرغم اهمیت‌شان، در شکل‌های بسیار متنوع عملکردی یکسان دارند. فیبرینوپپتیدها در انعقاد خون استفاده می‌شوند و می‌توان بدون آسیب زدن به خاصیت انعقادی آنها جزییات زیادی را در این مولکول‌ها تغییر داد. نرخ جهش در این پروتئین‌ها در حدود یک تغییر در هر ششصد هزار سال است، نرخی که چهل برابر سریعتر از نرخ تغییر

---

۱ Kimura Motoo

۲ eptidesfibrinop

سیتوکروم C می‌باشد. بنابراین، فیبرینوپپتیدها، با اینکه برای بازسازی اجداد جدیدتر، به عنوان مثال در گونه پستانداران، مفید هستند، برای بازسازی اجداد کهن مناسب نمی‌باشند. صدها پروتئین مختلف وجود دارند، که هر یک با نرخ اختصاصی خود در هر میلیون سال تغییر می‌کنند و هر یک به صورت مستقل برای بازسازی شجره‌نامه قابل‌استفاده هستند. همگی آنها تقریباً یک شجره‌نامه واحد را به دست می‌دهند که اگر برای اثبات صحت نظریه تکامل به شاهد نیاز باشد، قابل‌استفاده است.

بحث ما از این مسئله که ترکیب جنسی سوابق تاریخی را به هم می‌ریزد، به اینجا رسید. ما دریافتیم که دو راه برای گریز از اثرات نامطلوب آمیزش جنسی وجود دارد. یکی از این راه‌ها را که برگرفته از این واقعیت است که آمیزش جنسی ژن‌ها را بین گونه‌ها مخلوط نمی‌کند، بررسی کردیم. این مسئله امکان استفاده از توالی دی‌ان‌ای برای بازسازی شجره‌نامه باستانی نیاکان‌مان را فراهم می‌کند، نیاکانی که بسیار قبل‌تر از زمانیکه به عنوان انسان شناخته شویم، زندگی می‌کردند. اما قبلاً بر سر این موضوع به توافق رسیدیم که اگر تا آن حد به عقب بازگردیم، در هر صورت، ما انسان‌ها قطعاً همگی نوادگان یک فرد واحد هستیم. ما می‌خواستیم نزدیک‌ترین زمانی که می‌توانیم ادعا کنیم تمام انسان‌ها دارای یک نیای مشترک هستند را مشخص کنیم. برای پیداکردن این زمان باید به سراغ نوع متفاوتی از شواهد دی‌ان‌ای برویم. در اینجاست که حوای آفریقایی وارد داستان می‌شود.

حوای آفریقایی برخی اوقات حوای میتوکندریایی نیز نامیده می‌شود. میتوکندری‌ها[1] اجزای بسیار ریزِ لوزی‌شکل هستند که در هر یک از سلول‌های ما به تعداد هزاران عدد شناورند. آنها اساساً توخالی هستند اما یک ساختار داخلی پیچیده از دیواره غشایی دارند. سطحی که از این غشاها بدست می‌آید بسیار وسیعتر از چیزی است که از ظاهر بیرونی میتوکندری ممکن است حدس زد و این سطح مورداستفاده قرار می‌گیرد. غشاها حکم خطوط تولید یک کارخانه مواد شیمیایی یا به بیان دقیق‌تر، حکم یک نیروگاه برق را دارند. یک واکنش زنجیره‌ای دقیقاً کنترل‌شده در امتداد غشاها به راه می‌افتد - واکنش زنجیره‌ای که نسبت به هر نوع کارخانه شیمیایی ساخت دست انسان مراحل به مراتب بیشتری دارد. حاصل این واکنش انرژیی است که از مولکول‌های غذا بدست می‌آید، این انرژی در مراحل کنترل‌شده آزاد می‌شود و به شکل قابل‌بازیافت ذخیره می‌شود تا بعدها در هر جایی از بدن که لازم است، سوزانده شود. بدون میتوکندری، ما در ظرف یک ثانیه خواهیم مرد.

این کاری است که میتوکندری‌ها انجام می‌دهند، اما ما در اینجا بیشتر با منشأ آنها کار داریم. براساس تاریخ تکامل باستان، آنها در اصل باکتری بوده‌اند. این تئوری بسیار جالب را *لین مارگولیس*[2]، محقق بسیار برجسته دانشگاه ماساچوست در آمهرست مطرح نمود، نظریه‌ای درمورد خاستگاه‌های غیرمعمول که ابتدا با

---

۱ mitochondria

۲ Margulis Lynn

استقبال چندانی مواجه نشد ولی امروزه پیروزمندانه تقریباً به پذیرش جهانی رسیده است. دو میلیارد سال قبل، نیاکان دور میتوکندری‌ها باکتری‌هایی آزادزی بودند. این باکتری‌ها همراه با سایر انواع باکتری، در داخل سلول‌های بزرگتر اقامت گزیدند. اجتماع بوجودآمده از باکتری‌ها («پروکاریوتی[۱]»)، سلول («یوکاریوتی[۲]») بزرگی شد که اکنون به بدن ما تعلق دارد. هر یک از ما یک اجتماع متشکل از یکصد میلیون میلیون سلول یوکاریوتی وابسته به‌هم هستیم. هر یک از این سلول‌ها، اجتماعی است از هزاران باکتری اهلی‌شده که کاملاً در داخل سلول محصور شده‌اند و در آنجا به خواست باکتری تکثیر می‌شوند. محاسبه نشان می‌دهد اگر تمام میتوکندری‌های داخل بدن یک انسان کنار هم ردیف شوند نه یکبار که دو هزار بار می‌توانند دور کره زمین بپیچند. یک جانور یا گیاه مانند یک جنگل استوایی، اجتماعی وسیع از جوامع فشرده در لایه‌هایی است که با هم تعامل دارند. جنگل استوایی به نوبه خود اجتماعی است مملو از احتمالاً ده‌ها میلیون ارگانیسم مختلف، هر عضو واحد از هر گونه نیز خود اجتماعی است از جوامع باکتری‌های اهلی‌شده. نظریه دکتر مارگولیس درمورد منشأ حیات، که سلول را باغی محصور و پر از باکتری می‌داند، نه تنها به شکل غیرقابل‌مقایسه‌ای الهام‌بخش‌تر، جذاب‌تر و متعالی‌تر از داستان باغ عدن است، بلکه یک مزیت مضاعف دیگری دارد و آن این است که تقریباً بطور قطع داستانی است واقعی.

مانند اغلب بیولوژیست‌ها، من نیز اکنون درستی نظریه مارگولیس را پذیرفته و در این بخش از کتاب صرفاً جهت رسیدن به یک نتیجه‌گیری خاص آنرا می‌آورم: میتوکندری‌ها دی‌ان‌ای خاص خود را دارند، که مانند سایر باکتری‌ها در یک کروموزوم تک حلقه محبوس است. و اکنون برسیم به نکته‌ای که تمام این مقدمه‌چینی‌ها برای آن بود. دی‌ان‌ای میتوکندریایی در هیچ نوع اختلاط جنسی چه با دی‌ان‌ای اصلی «هسته‌ای» بدن و چه با دی‌ان‌ای سایر میتوکندری‌ها شرکت نمی‌کند. میتوکندری‌ها، مانند باکتری‌ها، با تقسیم‌شدن ساده تولیدمثل می‌کنند. هرگاه یک میتوکندری به دو میتوکندری دختر تقسیم می‌شود، هر دختر، صرفنظر از جهش‌های غیرعادی، نسخه‌ای یکسان از کروموزوم اصلی دریافت می‌کند. اکنون زیبایی آن را از نقطه‌نظر ما به عنوان نسب‌شناسانی که از دور تماشا می‌کنند، مشاهده می‌کنید. در خصوص متن دی‌ان‌ای معمولی، متوجه شدیم که آمیزش جنسی در هر نسل با به‌هم‌ریختن ژن‌های به‌ارث‌رسیده از سمت پدری و مادری شواهد را مخدوش می‌کند. خوشبختانه دی‌ان‌ای میتوکندریایی عزب است.

ما میتوکندری‌های‌مان را صرفاً از مادرمان دریافت می‌کنیم. اسپرم‌ها کوچک‌تر از آن هستند که بیش از چند میتوکندری را در خود جا دهند؛ میتوکندری‌ها تنها به اندازه‌ای انرژی دارند که بتوانند دم اسپرم را هنگام شنا به سمت تخمک حرکت دهند و این میتوکندری‌ها هنگامی که سر اسپرم در زمان لقاح وارد تخمک می‌شود، همراه با دم دور ریخته می‌شوند. تخمک به نسبت بسیار حجیم است، و قسمت داخلی فوق‌العاده بزرگ

---

۱ prokaryotic

۲ eukaryotic

و مملو از مایع آن حاوی یک کشت غنی از میتوکندری است. این کشت بدن کودک را پرورش می‌دهد. پس چه مرد باشید چه زن، میتوکندری‌های شما همگی از یک مایع لقاحی اولیه از میتوکندری‌های مادرتان به ارث رسیده‌اند. چه مرد باشید چه زن، میتوکندری‌های شما همگی از میتوکندری‌های مادربزرگ مادری شما به ارث رسیده‌اند. هیچیکدام از آنها از پدر، پدربزرگ، یا از مادربزرگ پدری‌تان نیست. میتوکندری‌ها سابقه مستقلی از گذشته شما را تشکیل می‌دهند، سابقه‌ای که توسط دی‌ان‌ای هسته اصلی که می‌تواند از هر یک از پدربزرگ‌ها یا مادربزرگ‌ها و یا از هر یک از هشت جد بزرگ شما و الی آخر آمده باشد، آلوده نشده است.

دی‌ان‌ای میتوکندریایی فاقد آلودگی است اما نسبت به جهش (خطاهای تصادفی هنگام نسخه‌برداری) ایمن نیست. در واقع نسبت به دی‌ان‌ای «خود» ما، با سرعت بالاتری جهش پیدا می‌کند، زیرا (مانند همه باکتری‌ها) فاقد مکانیزم غلط‌گیری پیچیده‌ای است که سلول‌های ما در طول اعصار به آن مجهز شده‌اند. تفاوت‌های اندکی بین دی‌ان‌ای میتوکندریایی شما و من وجود خواهد داشت، و تعداد اختلاف‌ها معیاری برای تعیین زمانی است که نیاکان ما از هم جدا شدند. البته نه همه نیاکان ما، بلکه نیاکان ما از طرف نسل‌های مؤنث متوالی. اگر مادر شما بر حسب اتفاق یک بومی استرالیایی، یا یک چینی، یا یک عضو قبیله کونگ‌سان صحرای کالاهاری آفریقا با نژاد اصیل باشد، تفاوت‌های فراوانی بین دی‌ان‌ای میتوکندریایی شما و من وجود خواهد شد. مهم نیست پدر شما چه کسی است: او ممکن است یک اشراف‌زاده انگلیسی یا رئیس قبیله سرخپوستی سو باشد، در هر صورت در میتوکندری‌های شما تفاوتی ایجاد نمی‌کند. و همین مسئله در مورد هر کدام از نیاکان مذکری که تاکنون داشته‌اید هم مصداق دارد.

پس می‌توان گفت یک کتاب مجعوله میتوکندری مجزا وجود دارد که همراه با انجیل خانوادگی به نسل بعد سپرده می‌شود اما با این حسن بزرگ که تنها از طریق اعضای مؤنث منتقل می‌گردد. این نکته را نباید تبعیض جنسیتی قلمداد نمود؛ اگر تنها از سمت اعضای مذکر نیز منتقل می‌شد، همان حکم را داشت. حُسن آن در دست‌نخورده ماندن، تکه تکه و ترکیب نشدن در هر نسل است. چیزی که ما، نسب‌شناسان دی‌ان‌ای، نیاز داریم، انتقال پایدار به نسل بعد از طریق یکی از دو جنس (مؤنث یا مذکر) است. کروموزوم Y که مانند نام خانوادگی تنها از سمت پدر به نسل بعدی داده می‌شود از لحاظ نظری به یک اندازه مفید است، اما موضوع این است که این کروموزوم حاوی اطلاعات بسیار ناچیزی است. کتاب مجعوله میتوکندریایی ابزاری ایده‌آل برای تعیین تاریخ نیاکان مشترک در داخل یک گونه است.

دی‌ان‌ای میتوکندریایی توسط گروهی از محققان که با آلن ویلسون فقید در برکلی کالیفرنیا مرتبط بودند، استخراج شد. در دهه ۱۹۸۰، ویلسون و همکارانش از ۱۳۵ زن که در قید حیات بودند از سرتاسر جهان، از بومیان استرالیا و کوهپایه‌نشین‌های گینه نو گرفته تا بومیان آمریکا، اروپایی‌ها، چینی‌ها و برگزیدگان نژادهای مختلف آفریقا، نمونه‌گیری کردند. آنها تعداد حروف متفاوتی که هر زن را از هر زن دیگری جدا می‌کرد، بررسی

کردند. این تعداد را به یک کامپیوتر دادند و از آن خواستند تا موجزترین[1] (پارسیمونی‌ترین) شجره‌نامه ممکن را بسازد. منظور از «موجز» در اینجا کنارگذاشتن فرض موارد تصادفی تا حد ممکن است . این مطلب نیاز به توضیح بیشتری دارد.

بحثی را که پیشتر درمورد اسب‌ها، خوک‌ها و مخمر، و تحلیل توالی حروف سیتوکروم C داشتیم به خاطر بیاورید. به یاد دارید که اسب تنها سه حرف با خوک، خوک چهل و پنج حرف با مخمر، و اسب چهل و شش حرف با مخمر تفاوت داشت. این نکته را اثبات کردیم که از لحاظ نظری از آنجا که اسب و خوک از طریق یک نیای مشترک نسبتاً نزدیک به هم مرتبط هستند، باید دقیقاً دارای یک فاصله از مخمر باشند. تفاوت بین چهل و پنج و چهل و شش یک ناهنجاری است، چیزی که در یک دنیای ایده‌آل نباید وجود داشته باشد. دلیل آن ممکن است یک جهش اضافی در مسیر منتهی به اسب یا جهشی معکوس در مسیر منتهی به خوک باشد.

حال، هرقدر این ایده در واقعیت نامعقول باشد، از لحاظ نظری، این که خوک واقعاً به مخمر نزدیک‌تر باشد تا به اسب، قابل‌تصور است. از لحاظ نظری این امکان وجود دارد که خوک و اسب شباهت نزدیک‌شان به یکدیگر را (متن سیتوکروم C آنها تنها سه حرف با هم تفاوت دارد و بدنشان اساساً مطابق با الگوی تقریباً یکسان پستانداران ساخته شده است) از طریق تصادفی بزرگ کسب کرده باشند. دلیل عدم‌پذیرش این فرضیه این است که موارد تشابه خوک با اسب بسیار بیشتر از تشابه خوک با مخمر است. البته یک حرف دی‌ان‌ای واحد وجود دارد، که اگر آن را ملاک قرار دهیم، به نظر می‌رسد خوک نزدیکی بیشتری با مخمر داشته باشد تا با اسب، اما میلیون‌ها شباهت آن با اسب، این مورد را کاملاً رد می‌کند. این استدلال به نوعی ایجاز (پارسیمونی[2]) است. اگر فرض کنیم خوک به اسب نزدیک است، باید تنها یک شباهت تصادفی را بپذیریم. چنانچه فرض کنیم خوک به مخمر نزدیک است، باید زنجیره‌ای از شباهت‌های تصادفی را بپذیریم که بسیار غیرواقع‌بینانه مستقل از هم اتفاق افتاده‌اند.

در مورد اسب، خوک و مخمر، استدلال ایجاز قوی‌تر از آن است که بتوان در آن شک و شبهه‌ای وارد نمود. اما در دی‌ان‌ای میتوکندریایی نژادهای مختلف انسان، هیچ مورد چشمگیری درمورد شباهت‌ها وجود ندارد. با این وجود استدلال‌های ایجاز همچنان به کار می‌آیند، اما استدلال‌هایی ضعیف و کمی بوده و استخوان‌دار و کوبنده نیستند. کاری که کامپیوتر باید از لحاظ نظری انجام دهد، این است: باید فهرستی از کلیه شجره‌نامه‌های ممکن مربوط به ۱۳۵ زن را تهیه کند. سپس این مجموعه شجره‌نامه ممکن را بررسی کرده و موجزترین آنها را، یعنی موردی که تعداد شباهت‌های تصادفی را به حداقل می‌رساند، انتخاب کند. باید پذیرفت که حتی بهترین شجره‌نامه هم احتمالاً ما را مجبور خواهد کرد تعداد معدودی مورد تصادفی را قبول کنیم، همانطور که مجبور

---

۱ parsimonious ostm the

۲ parsimony

شدیم با توجه به یک حرف دی‌ان‌ای، این واقعیت را بپذیریم که مخمر به خوک نزدیکتر است تا به اسب. اما، حداقل از لحاظ نظری، کامپیوتر باید قادر باشد از عهده آن برآمده و به ما اعلام کند کدامیک از شجره‌نامه‌های متعدد و ممکن، موجزتر بوده و تصادف کمترین تأثیر را بر آن داشته است.

آنچه گفتیم تئوری بود. اما در عمل، مشکل کوچکی وجود دارد. تعداد شجره‌نامه‌های ممکن بیشتر از آن است که من، شما یا هر ریاضی‌دانی بتواند تصور کند. برای اسب، خوک و مخمر، تنها سه شجره‌نامه ممکن وجود دارد. مشخصاً صحیح‌ترین مورد *[[خوک اسب] مخمر]* است، که در آن خوک و اسب با هم در داخلی‌ترین دسته و جدا از مخمر که «گروه بیگانه» نامرتبط به حساب می‌آید، قرار می‌گیرند. دو شجره‌نامه نظری دیگر عبارتند از *[[خوک مخمر] اسب]* و *[[اسب مخمر] خوک]*. اگر موجود چهارمی را اضافه کنیم، به عنوان مثال ماهی مرکب، تعداد شجره‌نامه‌ها به پانزده عدد می‌رسد. از آوردن تمام پانزده حالت در اینجا خودداری می‌کنم، اما حالت صحیح (موجزترین حالت) *[[[خوک اسب] ماهی مرکب] مخمر]* است. مجدداً، خوک و اسب، به عنوان اقوام نزدیک، آسوده در کنار هم در داخلی‌ترین کروشه قرار می‌گیرند. ماهی مرکب که از نظر زمانی نسبت به مخمر نیایی نزدیک‌تر به تبار خوک و اسب دارد، عضو بعدی است که به گروه می‌پیوندد. هر یک از چهارده شجره‌نامه دیگر، به عنوان مثال *[[خوک ماهی مرکب] [اسب مخمر]]* قطعاً کمتر موجز هستند. چنانچه خوک واقعاً خویشاوند نزدیک‌تری به ماهی مرکب بود و اسب نیز خویشاوندی نزدیک‌تری به مخمر داشت، بسیار غیرمحتمل می‌بود که شباهت‌های بسیار زیاد خوک و اسب به صورت مستقل تکامل یافته باشند.

اگر سه جانور سه شجره‌نامه احتمالی داشته باشند، و چهار جانور پانزده شجره‌نامه، برای صد و سی و پنج زن، چند شجره‌نامه احتمالی را می‌توان ترسیم کرد؟ این عدد آنقدر بزرگ است که نوشتن آن در اینجا بی‌معناست. چنانچه سریع‌ترین و بزرگترین کامپیوتر دنیا را برای تهیه تمام شجره‌نامه‌های احتمالی بکار گیریم، احتمالاً قبل از اینکه حتی درصدی از کار را پیش برده باشد، جهان به پایان خواهد رسید.

با این وجود، این مسئله چندان ناامیدکننده نیست. ما با مهارکردن اعداد بسیار بزرگ از طریق روش‌های نمونه‌گیری منطقی آشنا هستیم. تعداد حشرات کل حوزه آبگیر رودخانه آمازون را نمی‌توان شمارش کرد، اما با نمونه‌برداری از قطعات کوچکی از زمین که به صورت تصادفی در سرتاسر جنگل به عنوان نمونه‌هایی از کل حوزه انتخاب کرده‌ایم، می‌توانیم تعداد کل را تخمین بزنیم. کامپیوتر ما نمی‌تواند تمام شجره‌نامه‌های احتمالی که این ۱۳۵ زن را به هم مرتبط می‌نماید، بررسی کند اما می‌تواند نمونه‌هایی تصادفی از تمام شجره‌نامه‌های احتمالی را استخراج کند. اگر هنگام تهیه یک شجره‌نامه نمونه از بین میلیاردها میلیارد شجره‌نامه احتمالی، متوجه شدید موجزترین اعضای آن نمونه دارای ویژگی‌های مشترک خاصی هستند، می‌توانید نتیجه‌گیری کنید که احتمالاً موجزترین شجره‌نامه نیز دارای همان ویژگی‌هاست.

این کاری است که افراد انجام می‌دادند. اما الزاماً مشخص نیست که بهترین راه برای انجام این کار باشد. درست همانطور که حشره‌شناسان ممکن است درمورد بهترین شیوه نمونه‌برداری از جنگل استوایی برزیل توافق‌نظر نداشته باشند، نسب‌شناسان دی‌ان‌ای نیز از روش‌های نمونه‌گیری متفاوتی استفاده می‌کنند. و متأسفانه نتایج همواره با هم همخوانی ندارد. با اینحال، شاید بد نباشد نتیجه‌گیری‌های گروه برکلی را براساس تحلیل اولیه‌شان از دی‌ان‌ای میتوکندریایی انسان در اینجا ارائه دهیم. نتایج آنها بسیار جالب و بحث‌انگیز بوده است. طبق اظهارات این گروه، موجزترین شجره‌نامه به خانواده‌ای آفریقایی‌الاصل تعلق داشته است. این بدان معناست که رابطه برخی آفریقایی‌ها با آفریقایی‌های دیگر دورتر از هر شخص دیگر در بقیه قسمت‌های جهان است. کل دیگر قسمت‌های جهان یعنی اروپایی‌ها، بومیان آمریکا، بومیان استرالیا، چینی‌ها. گینه نو، اینوئیت‌ها، همه و همه یک گروه نسبتاً نزدیک از خویشاوندان را تشکیل می‌دهند. برخی آفریقایی‌ها به این گروه نزدیک تعلق دارند. اما آفریقایی‌های دیگر اینگونه نیستند. مطابق با این تحلیل، موجزترین شجره‌نامه‌ها اینگونه بوده‌اند: [برخی آفریقایی‌ها [دیگر آفریقایی‌ها [باز هم آفریقایی‌های دیگر [باز هم آفریقایی‌های دیگر و هر کس دیگر]]. بنابراین گروه به این نتیجه رسید که جد بزرگ مؤنث همه ما در آفریقا زندگی می‌کرده است: یعنی «حوای آفریقایی.» همانطور که گفتم، این نتیجه‌گیری بحث‌برانگیز است. محققان دیگر ادعا کرده‌اند شجره‌نامه‌هایی به همان میزان موجز که بیرونی‌ترین شاخه آنها در خارج از آفریقا گسترش یافته باشد را نیز می‌توان پیدا کرد. همچنین ادعا می‌شود علت اینکه محققان برکلی به این نتایج خاص رسیده‌اند تا حدی به خاطر ترتیب نگاه کردن کامپیوتر آنها به شجره‌نامه‌های احتمالی است. مشخص است که ترتیب نگاه کردن نباید مهم باشد. احتمالاً اغلب کارشناسان هنوز هم بر سر اینکه حوای میتوکندریایی آفریقایی بوده است یا خیر شرط‌بندی می‌کنند، اما این کار را با اطمینان زیادی انجام نمی‌دهند.

دومین نتیجه‌گیری گروه برکلی کمتر بحث‌برانگیز است. صرفنظر از اینکه حوای میتوکندریایی در چه منطقه‌ای زندگی می‌کرده است، محققان قادر بوده‌اند زمان حیات او را تخمین بزنند. سرعت تکامل دی‌ان‌ای میتوکندریایی مشخص است؛ بنابراین، برای هر نقطه از انشعاب روی شجره‌نامه واگرایی دی‌ان‌ای میتوکندریایی می‌توان یک تاریخ تقریبی تعیین کرد. پس نقطه انشعابی که تمام زنان نوع بشر را به هم وصل می‌کند، یا تاریخ تولد حوای میتوکندریایی، بین صد و پنجاه هزار تا نیم میلیون سال قبل است.

چه حوای میتوکندریایی آفریقایی بوده باشد یا خیر، موضوع مهم این است که آنرا نباید با این تعبیر که نیاکان ما از آفریقا آمده‌اند، اشتباه کرد. حوای میتوکندریایی نیای جدید تمام انسان‌های مدرن است. او عضوی از گونه *هوموساپیانس*[1] (انسان اندیشه‌ورز) است. فسیل انسان‌های گونه *هوموارکتوس*[2] (انسان راست‌قامت) که خیلی قبلتر می‌زیسته‌اند، هم در داخل و هم خارج از قاره آفریقا پیدا شده است. فسیل نیاکان

---

۱ Homo sapiens

۲ Homo erectus

قدیمی‌تر از *هوموارکتوس*، مانند *هوموهابیلیس*[1] (انسان ماهر) و گونه‌های مختلف *استرالوپیتکوس*[2] (جنوبی‌کپی) (از جمله یک گونه جدیداً کشف‌شده با قدمت بیش از چهار میلیون سال) فقط در آفریقا پیدا شده‌اند. پس اگر ما نوادگان یک گروه مهاجر آفریقایی در ربع میلیون سال قبل هستیم، این گروه باید دومین گروه مهاجر آفریقایی بوده باشد. هجرت قدیمی‌تری نیز احتمالاً یک میلیون و نیم سال قبل وجود داشته است، هنگامی که *هوموارکتوس* برای سکنی گزیدن در بخش‌هایی از خاورمیانه و آسیا از آفریقا کوچ کردند. نظریه حوای آفریقایی ادعا نمی‌کند که این گونه انسان‌های آسیایی قدیمی‌تر وجود نداشته‌اند بلکه می‌گوید هیچ نسلی از آنها باقی نمانده است. از هر زاویه‌ای که بخواهیم نگاه کنیم، اگر دو میلیون سال به عقب برگردیم، همه ما آفریقایی هستیم. علاوه براین، نظریه حوای آفریقایی ادعا می‌کند اگر تنها چند صد هزار سال به عقب بازگردیم، ما انسان‌های باقیمانده همگی آفریقایی بوده‌ایم. چنانچه شواهد جدید آنرا تأیید کند، می‌توان رد تمام دی‌ان‌ای میتوکندریایی مدرن را تا یک نیای مؤنث در خارج از آفریقا (به عنوان مثال، «حوای آسیایی») دنبال کرد، درحالیکه همزمان می‌توان اتفاق نظر داشت که اجداد قدیمی‌تر ما را می‌توان فقط در آفریقا پیدا کرد.

بیایید فرض را بر صحت ادعای گروه برکلی گذاشته و معانی نتیجه‌گیری آنها را بررسی کنیم. استفاده از لقب «حوا» تبعات ناخوشایندی به دنبال داشته است. برخی از طرفداران نظریه این ایده غیرمعقول را مطرح می‌کنند که او باید یک زن تنها بوده باشد، تنها زن روی زمین، گلوگاه نهایی ژنتیک، و حتی توجیهی برای پیدایش! این برداشت کاملاً غلط است. ادعای صحیح نه این است که او تنها زن روی زمین بوده، و نه اینکه جمعیت در زمان او آنقدر کم بوده است. همراهان وی، از هر دو جنس، احتمالاً هم زیاد بوده‌اند و هم پرزادوولد. آنها ممکن است هنوز نوادگان زنده فراوانی در زمان حال داشته باشند. اما تمام فرزندان میتوکندری آنها منقرض شده‌اند، زیرا رابطه آنها با ما در برخی نقاط از یک مرد می‌گذرد. به همان ترتیب، یک نام خانوادگی اصیل (نام‌های خانوادگی به کروموزوم‌های Y متصل هستند و تنها از طریق اعضای مذکر به صورت تصویری دقیقاً معکوس از میتوکندری به نسل بعدی سپرده می‌شوند) ممکن است منقرض شود، اما این بدان معنا نیست که دارندگان این نام خانوادگی دارای هیچ فرزندی نیستند. ممکن است از مسیرهایی غیر از مسیر صرفاً مردانه دارای نوادگان فراوانی باشند. ادعای صحیح تنها می‌تواند این باشد که حوای میتوکندریایی، نزدیک‌ترین زن به ماست که می‌توان همه انسان‌های مدرن از سمت فقط زن را از نسل او دانست. قاعدتاً *باید* یک زن وجود داشته باشد که بتوان این ادعا را درمورد او مطرح نمود. بحث تنها بر سر این است که زمان و مکان حیات این زن کی و کجا بوده است. گذشته از مکان و زمان، واقعیت وجود او قطعی است.

و در اینجا سوءتعبیری دیگر مطرح می‌شود، سوءتعبیری به مراتب شایع‌تر که حتی دانشمندان برجسته‌ای که در زمینه دی‌ان‌ای میتوکندریایی کار می‌کنند، آنرا مرتکب می‌شوند. براساس این باور، حوای

---

habilis Homo ۱

Australopithecus ۲

میتوکندریایی نزدیک‌ترین نیای مشترک ماست. علت این سوءتعبیر اشتباه‌گرفتن «نزدیک‌ترین نیای مشترک» با «نزدیک‌ترین نیای مشترک از سمت صرفاً مؤنث» است. حوای میتوکندریایی نزدیک‌ترین نیای مشترک ما در تبار صرفاً مؤنث است، اما راه‌های فراوان دیگری غیر از تبار صرفاً مؤنث برای انتقال نسل از افراد وجود دارد. میلیون‌ها راه دیگر. بازگردیم به محاسبات تعداد نیاکان (پیچیدگی ازدواج‌های خویشاوندی را که موضوع بحث قبل بود، فراموش کنید). از هشت جد بزرگ شما تنها یکی از سمت صرفاً مؤنث است. از والدین جدهای شما که شانزده نفر هستند، تنها یکی از *آنها* در تبار فقط مؤنث است. حتی اگر پذیریم که ازدواج خویشاوندی تعداد نیاکان را در یک نسل خاص کاهش می‌دهد، همچنان این واقعیت وجود دارد که راه‌های بسیار بسیار بسیار زیادی غیر از تبار صرفاً مؤنث برای نیا شدن وجود دارد. چنانچه مسیر رود ژنتیکی‌مان را در خلاف جریان به سمت گذشته‌های بسیار دور دنبال کنیم، احتمالاً خواهیم دید که حواها و آدم‌های فراوانی وجود داشته اند. افرادی اصلی که می‌توان گفت تمام کسانی که در سال ۱۹۹۵ زندگی می‌کرده‌اند، از نسل آنها بودند. حوای میتوکندریایی تنها یکی از آنهاست. هیچ دلیل خاصی وجود ندارد که فکر کنیم از بین تمام این آدم‌ها و حواها، حوای میتوکندریایی جدیدترین است. برعکس. او به شکلی *خاص* توصیف می‌شود: ما از مسیری ویژه از طریق رود تبار از او بوجود آمده‌ایم. تعداد مسیرهای ممکن که در کنار مسیر صرفاً مؤنث می‌توان قرار داد به حدی زیاد است که از نظر ریاضی بسیار غیرمحتمل است حوای میتوکندریایی جدیدترین نیا از بین این همه آدم و حوا باشد. این مسیر از یک لحاظ (مؤنث‌بودن صرف) در بین سایر مسیرها منحصربه‌فرد است. اگر منحصربه‌فردبودن آن در بین مسیرها به دلیلی دیگر (مثلاً جدیدترین بودن) بود، اتفاق جالب‌توجهی به حساب می‌آمد.

یک نکته جالب دیگر این است که نزدیکترین نیای مشترک ما احتمالاً یک آدم بوده است تا یک حوا. فقط به این دلیل که مردان از نظر بدنی می‌توانند صدها یا حتی هزاران فرزند داشته باشند، وجود حرمسراهای زنان محتمل‌تر از حرمسراهای مردان است. رکورد ثبت‌شده در کتاب گینس به تعداد بیش از هزار مورد به *مولای اسماعیل خونخوار* تعلق دارد. (البته، فمینیست‌ها احتمالاً مولای اسماعیل را به عنوان نماد عمومی خودبرترپنداری ناخوشایند مردانه قلمداد می‌کنند. گفته می‌شود روش سوارشدن وی بر روی اسب بدین شکل بود که شمشیرش را می‌کشید و بر روی زین می‌پرید و همزمان سر از بدن برده‌ای که رکاب را برای او نگه داشته بود، جدا می‌کرد. با اینکه باور این داستان دشوار است، همینکه این افسانه همراه با شهرت وی در کشتن ده‌ها هزار تن به دست خودش به ما رسیده، احتمالاً می‌تواند نشان دهد چه خصوصیاتی در مردانی از این دست مورد تحسین بوده است.) زنان حتی در ایده‌آلترین شرایط نمی‌توانند بیش از چند ده فرزند به دنیا بیاورند. یک زن به نسبت یک مرد احتمال بیشتری دارد که به تعداد متوسط و معمول فرزند داشته باشد. مردان کمی ممکن است برای داشتن فرزند ولع مضحکی داشته باشند، این بدان معناست که بقیه مردان میل زیادی به بچه داشتن ندارند. اگر قرار باشد کسی کلاً فرزند نیاورد، وی به احتمال زیاد یک مرد است تا یک زن. و اگر کسی بخواهد یک قشون اولاد بیاورد، باز هم احتمالاً یک مرد است. این مسئله درمورد نزدیکترین نیای مشترک همه انسانها نیز صدق می‌کند، که به احتمال زیاد یک آدم بوده است تا یک حوا. بعنوان یک مثال مبالغه‌آمیز، چه کسی

احتمال بیشتری دارد نیای تمام مراکشی‌های امروزی باشد، مولای اسماعیل خونخوار یا یکی از زنان بداقبال حرمسرای او؟

پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که: نخست اینکه قطعاً یک زن وجود داشته که ما حوای میتوکندریایی می‌نامیم. کسی که نزدیکترین نیای مشترک همه انسان‌های مدرن از سمت مادری بوده است. و نیز مطمئناً یک شخص وجود داشته است که ما بتوانیم «نیای اصلی» بنامیم، کسی که نزدیکترین نیای مشترک همه انسان‌های مدرن از هر سمتی بوده است. سوم، با اینکه این امکان وجود دارد که حوای میتوکندریایی و نیای اصلی یک شخص واحد بوده باشند، امکان صحت این موضوع بسیار اندک است. چهارم، احتمال اینکه نیای اصلی یک مرد بوده باشد تا یک زن تا حدودی بیشتر است. پنجم، حوای میتوکندریایی به احتمال بسیار زیاد کمتر از ربع میلیون سال قبل زندگی می‌کرده است. ششم، در مورد اینکه حوای میتوکندریایی در کجا زندگی می‌کرده است، اختلاف‌نظر وجود دارد، اما بطور میانگین اغلب نظرات به آفریقا معطوف است. تنها نتیجه‌گیری‌های پنج و شش به بررسی شواهد علمی بستگی دارد. چهار نتیجه‌گیری نخست از طریق استدلال نظری مبتنی بر دانش معمول امکان‌پذیر است.

اما همانطور که قبلاً گفتم، کلید درک خود حیات به دست نیاکان است. داستان حوای آفریقایی یک ریزبوم انسانی کوته‌فکرانه از حماسه‌ای باشکوه و بسیار باستانی‌تر است. در اینجا مجدداً باید به استعاره رود ژن‌ها، یعنی نهری از عدن، متوسل شویم. اما باید در یک مقیاس زمانی بی‌اندازه بزرگتر از هزاران سال حوای افسانه‌ای و صدها هزار سال حوای آفریقایی، در خلاف جریان رود به عقب برگردیم. رود دی‌ان‌ای در یک خط ممتد با قدمت حداقل سه هزار میلیون سال از میان نیاکان ما جریان داشته است.

فصل سوم
کار خیر را در خفا انجام بده

خلقت‌گرایی[۱] جذابیتی مداوم دارد و دلیل آن نیز دست‌نایافتنی نیست. حداقل برای آن دسته از افرادی که من با آنها برخورد داشته‌ام، این جذابیت به خاطر الزام به حقیقت تحت‌الفظی سفر پیدایش یا داستان‌های مختلف اقوام انسانی درمورد آغاز هستی نبوده است. بلکه بدین دلیل بوده است که مردم مجذوب زیبایی و پیچیدگی دنیای موجودات زنده شده و نتیجه‌گیری می‌کنند که «بی‌شک» این دنیا باید محصول طراحی هوشمندانه باشد. خلقت‌گرایانی که تصدیق می‌کنند تکامل داروینی جایگزینی هر چند ناقص برای نظریه کتاب مقدس آنها ارائه می‌کند، غالباً به استدلالی مخالف و تا حدودی پیچیده‌تر متوسل می‌شوند. آنها احتمال وجود واسطه‌های تکاملی[۲] را رد می‌کنند. این افراد می‌گویند: «X *باید* بوسیله یک خالق طراحی شده باشد، زیرا نصف X به هیچ وجه کار نمی‌کند. تمام قسمت‌های X باید به صورت همزمان به هم وصل شده باشند؛ آنها نمی‌توانسته‌اند به صورت تدریجی بوجود آمده باشند.» به عنوان مثال، روزی که نوشتن این فصل را آغاز کردم، به طور اتفاقی نامه‌ای دریافت کردم. نامه را یک کشیش آمریکایی فرستاده بود که قبلاً آتئیست بوده و با خواندن مقاله‌ای در مجله «نشنال جئوگرافیک» ایمان آورده بود. بخش‌هایی از نامه را اینجا می‌آورم:

> موضوع مقاله درمورد انطباق‌های شگفت‌انگیزی بود که گل‌های ارکیده برای تکثیر موفقیت‌آمیز خود با محیط‌شان انجام داده بودند. هنگام مطالعه این مقاله، به خصوص مسحور روش تولیدمثل یک گونه شدم که با همکاری یک زنبور نر انجام می‌شد. ظاهراً گل شباهت بسیار زیادی با نوع ماده این گونه از زنبور دارد. از جمله اینکه دهانه آن در محلی مناسب قرار گرفته و زنبور نر می‌تواند با مقاربت با گل، به گرده تولیدشده بوسیله گل برسد. با پرواز زنبور بر روی گل بعدی، این فرآیند تکرار می‌شود و در نتیجه گرده‌افشانی از گلی به گل دیگر انجام می‌گیرد. و آنچه گل را در وهله نخست برای زنبور جذاب می‌نماید ساطع‌شدن فرومون‌هایی توسط گل است که دقیقاً شبیه فرمون[۳] زنبور ماده آن گونه خاص می‌باشد (فرمون یک ماده شیمیایی است که حشرات از آن برای جذب جفت استفاده می‌کنند). برای چند لحظه با کمی دقت به تصویر همراه مقاله نگاه کردم. سپس، در حالیکه شوک بزرگی به من دست داده بود، به این نتیجه رسیدم که برای اینکه این روش تولیدمثل اساساً کارآمد بوده باشد، باید در همان بار نخست بدون عیب و ایراد با موفقیت صورت گرفته باشد. تکامل آن به صورت تدریجی قابل‌تحقق نبوده است زیرا اگر گل ارکیده ظاهر و بوی زنبور ماده را نداشت، و دارای یک دهانه مناسب برای مقاربت زنبور نبود و گرده در محلی با دسترسی بی‌نقص برای اندام تناسلی زنبور نر قرار نداشت، در آنصورت این روش تولیدمثل کاملاً با شکست مواجه می‌شد.
>
> هیچگاه دلهره‌ای که سرتاسر وجودم را فراگرفت، فراموش نخواهم کرد، زیرا در آن دقیقه برایم روشن شد که باید نوعی نیروی خدایی به شکلی خاص وجود داشته که رابطه‌ای مداوم با فرآیندهایی که موجب بوجودآمدن چیزها می‌شوند، داشته باشد.

---

۱ creationism

۲ intermediates evolutionary

۳ pheromone

خلاصه کلام اینکه، خداوندِ خالق، افسانه عهد عتیق نبوده بلکه واقعی است. و ناچاراً به ناگاه دریافتم که باید به جستجوی حقایقی بیشتر درمورد آن خالق بپردازم.

سایر افراد بی‌شک از مسیرهایی دیگر به دین و مذهب روی آورده اند، اما قطعاً بسیاری از مردم تجربه‌ای مشابه با آنچه موجب تغییر مسیر زندگی این کشیش (که از گفتن نام او معذورم) شد، داشته‌اند. آنها شاهد نمونه‌ای از اعجاز طبیعت بوده‌اند یا درمورد آن مطلبی خوانده‌اند. این مسئله همگی آنها را لبریز از بهت و حیرت نموده و به تکریم واداشته است. بطور دقیقتر، ایشان همانند فرستنده نامه فوق، به این نتیجه رسیدند که یک پدیده طبیعی خاص، مانند تار عنکبوت، یا چشم یا بال عقاب، یا موارد مشابه، نمی‌توانسته است به صورت تدریجی دچار تکامل شده باشد، به این دلیل که مراحل میانی و نیمه‌کامل آن پدیده به هیچ دردی نمی‌خورده است. هدف از این فصل فروریختن این ادعاست که ابزار پیچیده برای اینکه کار کنند، حتماً باید بی‌عیب و نقص باشند. بر حسب تصادف، گل‌های ارکیده در بین نمونه‌های موردعلاقه چارلز داروین بوده، و او کتاب کاملی را به آنها اختصاص داده تا نشان دهد چگونه اصل تکامل تدریجی از طریق انتخاب طبیعی با موفقیت می‌تواند از عهده کار شاق توضیح «ابزار مختلفی که بوسیله آنها گل‌های ارکیده بوسیله حشرات بارور می‌شوند» برآید.

نکته کلیدی استدلال کشیش در این ادعا است که «برای اینکه استراتژی تولیدمثل اساساً کارآمد باشد، باید در همان بار نخست بدون عیب و ایراد با موفقیت صورت گرفته باشد. مراحل تدریجی به هیچ روی برای آن قابل‌توجیه نیست.» همان استدلال را - که به کرّات هم مطرح شده است - می‌توان برای تکامل چشم مطرح نمود و من در طول این فصل به آن خواهم پرداخت.

آنچه هنگام شنیدن این نوع استدلال همواره مرا تحت تأثیر قرار می‌دهد، اطمینانی است که با آن این ادعا مطرح می‌شود. مایلم از کشیش سوال کنم، چگونه می‌تواند تا این حد *مطمئن* باشد که گل ارکیده‌ای که خود را به شکل زنبور درآورده است (یا چشم یا هر چیز دیگری) کار نمی‌کند مگر اینکه تمام اجزای آن کامل بوده و سر جای خود قرار گرفته باشند؟ هیچگاه تا به حال حتی برای لحظه‌ای به این موضوع فکر کرده‌است؟ آیا اصلاً درمورد گل‌های ارکیده، یا زنبورها، یا چشم‌هایی که زنبورها با آنها به زنبورهای ماده یا گل‌های ارکیده نگاه می‌کنند، ابتدایی‌ترین نکات را می‌داند؟ این جسارت را از کجا پیدا کرده است که ادعا کند گول‌زدن زنبورها آنقدر کار سختی است که شباهت گل ارکیده با زنبور ماده باید در تمام ابعاد کامل و بی‌نقص بوده تا تأثیر داشته باشد؟

به آخرین بار که شباهتی ظاهری شما را گول زد فکر کنید. شاید برای مثال در خیابان برای غربیه‌ای که اشتباهاً فکر کرده‌اید از آشنایان‌تان است، دست تکان داده‌اید. هنرپیشگان مشهور معمولاً بدلکارانی دارند که در صحنه‌های افتادن از روی اسب یا پریدن از روی صخره به جای آنها نقش بازی می‌کنند. شباهت بدلکار با هنرپیشه معروف معمولاً بسیار سطحی است اما در صحنه‌های کوتاه، برای گول‌زدن تماشاچیان کافی است. مردان با دیدن عکس‌های شهوانی تحریک می‌شوند. عکس فقط جوهری چاپ‌شده بر روی کاغذ است. و معمولاً

دوبعدی است نه سه‌بعدی. یک عکس معمولاً تنها چند سانتی‌متر طول دارد. ممکن است به جای تصویر واقعی فقط، کاریکاتوری با چند خط باشد. با اینحال هنوز هم ممکن است باعث تحریک یک مرد شود. شاید یک نمای گذرا از یک زنبور ماده برای زنبور نری که به سرعت در حال پرواز است تمام آنچه باشد که برای میل مقاربت کافی است. شاید زنبورهای نر تنها به چند محرک کلیدی توجه می‌کنند.

دلایل بسیار متنوعی می‌توان ارائه نمود که نشان دهند گول‌زدن زنبورها ممکن است حتی از گول‌زدن انسان‌ها هم راحت‌تر باشد. گول‌زدن ماهی آبنوس علیرغم اینکه ماهی‌ها نسبت به زنبورها مغز و چشم بزرگتری دارند، قطعاً ساده‌تر است. ماهی آبنوس نر دارای شکمی قرمزرنگ است، او نه تنها نرهای دیگر بلکه ماهی‌های مصنوعی بی‌قواره که «شکم» قرمز دارند را نیز تهدید می‌کند. استاد قدیمی من، *نیکو تینبرخن*[1]، رفتارشناس حیوانات و برنده جایزه نوبل، داستانی درمورد یک ون قرمزرنگ اداره پست تعریف می‌کرد که وقتی از پشت پنجره آزمایشگاه او رد می‌شد، تمام ماهی‌های آبنوس نر در داخل تنگ‌های‌شان به سمت پنجره هجوم می‌بردند و به شدت آنرا تهدید می‌کردند. ماهی آبنوسِ ماده‌ای که از تخم بارور است شکمی کاملاً برآمده دارد. تینبرخن متوجه شد یک ماهی مصنوعی نقره‌ای‌رنگ بسیار ساده و اندکی کشیده که از نظر ما، به جز شکم برآمده، هیچ شباهتی به یک ماهی آبنوس نداشت، رفتار جفت‌گیری کامل را در ماهی‌های آبنوس نر برمی‌انگیخت. آزمایشات تجربی جدیدتر یک مرکز پژوهشی که توسط تینبرخن تأسیس شده است، نشان داده است که یک به اصطلاح «بمب سکس»، یک شیء گلابی‌شکل، گرد و قلمبه که حالت کشیده نداشته و هیچ شباهتی با آنچه که انسان از ماهی در ذهن دارد، برای آن متصور نیست، در تحریک شهوت ماهی آبنوس نر کارآمدی بسیار بیشتری دارد. «بمب سکس» ماهی آبنوس یک نمونه کلاسیک از محرکی غیرعادی است - محرکی حتی بسیار کارآمدتر از نمونه واقعی. به عنوان مثالی دیگر، تینبرخن تصویر یک مرغ صدفگیر را منتشر کرد که سعی می‌کرد روی تخمی به بزرگی تخم شترمرغ بخوابد. پرندگان دارای مغزی بزرگتر و قدرت دید بهتری نسبت به ماهی‌ها - و البته نسبت به زنبورها - هستند، با اینحال مرغ صدفگیر ظاهراً «فکر می‌کند» تخمی به بزرگی تخم شترمرغ شیء بهتری برای جوجه‌کشی است.

مرغ نوروزی، غاز و سایر پرندگانی که روی زمین آشیانه می‌سازند، نسبت به تخم‌مرغی که از آشیانه به بیرون قل خورده، یک واکنش کلیشه‌ای یکسان دارند. آنها سرشان را دراز کرده و با قسمت زیرین منقار آنرا به سر جای خود هل می‌دهند. تینبرخن و دانشجویانش نشان دادند مرغ نوروزی این کار را نه فقط با تخم‌های خود، بلکه با تخم‌مرغ معمولی و حتی استوانه چوبی یا قوطی کاکائویی که مسافران دور انداخته‌اند، نیز انجام می‌دهد. جوجه‌های مرغ نوروزی شمالی غذای‌شان را از والدین‌شان با التماس درخواست می‌کنند؛ آنها به نقطه قرمزرنگ روی منقار یکی از والدین خود نوک می‌زنند تا او را تحریک کرده و او مقداری از ماهی داخل چینه‌دان

---

۱ Tinbergen Niko

برآمده‌اش را بالا بیاورد. تینبرخن و یکی از همکارانش نشان دادند که یک سر مصنوعی و مقوایی ساده مرغ والد در تحریک رفتار درخواست غذا در جوجه‌ها بسیار کارآمد است. تنها چیز واقعاً ضروری یک نقطه قرمزرنگ است. از نظر جوجه مرغ نوروزی، پدر یا مادرش یک نقطه قرمزرنگ است. ممکن است سایر قسمت‌های بدن پدر یا مادر خود را به خوبی ببیند، اما به نظر می‌رسد اهمیتی برایش نداشته باشد.

این دیدِ محدود ظاهراً فقط به جوجه‌های مرغ نوروزی منحصر نیست. مرغ‌های نوروزی سرسیاهِ بالغ از روی ماسک سیاه صورت‌شان شناخته می‌شوند. *رابرت مش*[1]، یکی از دانشجویان تینبرخن، اهمیت این مسئله برای سایر مرغ‌های بالغ را با رنگ‌کردن سر ماکت‌های چوبی مرغ نوروزی مورد بررسی قرار داد. او هر یک از سرها را به انتهای میله چوبی که به موتور برق داخل یک جعبه وصل بود، چسباند. تا با استفاده از کنترل ازراه‌دور بتواند سر را بالا یا پایین برده یا به چپ و راست بچرخاند. او جعبه را در نزدیکی آشیانه مرغ نوروزی زیر خاک پنهان کرده و سر مصنوعی را در جایی مطمئن و دور از چشم زیر شن قرار می‌داد. سپس، هر روز به پناهگاهی در نزدیکی لانه رفته و واکنش مرغ نوروزی را نسبت به حرکات سر مصنوعی به بالا و پایین یا این سو و آنسو بررسی می‌کرد. پرندگان طوری نسبت به سر مصنوعی و چرخش آن واکنش نشان می‌دادند که گویی سر یک مرغ نوروزی واقعی است. در حالیکه فقط یک سر قلابی بود که روی میله دراز چوبی چسبیده بود و فاقد هر گونه بدن، پا، بال یا دمی بود، و بدون اینکه صدایی از آن خارج شود تنها حرکات بالا و پایین و چرخش کاملاً تصنعی و ربات‌مانندی انجام می‌داد. گویا از دید یک مرغ نوروزی سرسیاه، یک همسایه تهدیدکننده چیزی بیش از یک صورت سیاه فاقد بدن نیست. بدن، بال یا هر چیز دیگر به نظر فاقد اهمیت هستند.

مش، مانند نسل‌های متمادی پرنده‌شناسان قبل و بعد خود، برای رفتن به داخل پناهگاه و بررسی پرندگان، از یک محدودیت شناخته‌شده دستگاه عصبی پرندگان بهره گرفت: پرندگان از توان محاسبات ریاضی طبیعی محرومند. دو نفری به داخل محل پناهگاه رفته و تنها یکی از شما از آن خارج شوید. بدون این حقه، پرندگان متوجه پناهگاه شده، «می‌دانند» کسی داخل آن است. اما اگر ببینند یک نفر از آن خارج می‌شود، «گمان می‌کنند» هر دو نفر آنرا ترک کرده‌اند. اگر یک پرنده نتواند فرق بین یک و دو نفر را تشخیص دهد، آیا خیلی تعجب‌برانگیز است که شباهت جزئی یک گل ارکیده به یک زنبور ماده موجب فریب‌خوردن یک زنبور نر شود؟

یک داستان مشابه دیگر درمورد پرندگان وجود دارد که یک تراژدی به شمار می‌آید. بوقلمون‌های مادر محافظان بیرحمی برای جوجه‌های خود هستند. آنها باید جوجه‌های خود را در برابر مهاجمان به لانه مانند راسوها یا موش‌های آشغال‌جمع‌کن محافظت کنند. قاعده کلی که بوقلمون مادر برای شناسایی دزدان لانه استفاده می‌کند، ترسناک و خشن است: در نزدیکی لانه، به هر جنبنده‌ای که می‌بینی حمله کن، مگر *اینکه*

---

۱ Mash Robert

صدایش شبیه صدای جوجه بوقلمون باشد. این مسئله بوسیله جانورشناس اتریشی، *ولفگانگ اشلیدت*[1]، کشف شد. اشلیدت زمانی بوقلمونی ماده‌ای داشت که تمام جوجه‌های خود را با بیرحمی کشته بود. دلیل آن به شکل غم‌انگیزی ساده بود: او کر بود. از نظر دستگاه عصبی بوقلمون، شکارچیان جنبندگانی هستند که صدای جوجه بوقلمون از خود درنمی‌آورند. این جوجه‌ها با اینکه کاملاً شبیه جوجه بوقلمون بودند، درست مانند جوجه بوقلمون حرکت می‌کردند، و با اطمینان مانند جوجه‌های معمولی دنبال مادر می‌دویدند، قربانی تعریف محدود مادرشان از «شکارچی» شدند. او از کودکان خود در برابر خود آنها محافظت می‌کرد، و همه آنها را قتل‌عام کرد.

مورد مشابه داستان غم‌انگیز بوقلمون در حشرات است، در شاخک زنبور عسل سلول‌های حسی خاص تنها به یک ماده شیمیایی حساس هستند: اسید اولئیک[2]. (آنها سلول‌های دیگری دارند که به سایر مواد شیمیایی حساس هستند.) اسید اولئیک از بدن در حال فساد زنبور ساطع می‌شود و در زنبورها «رفتار کفن و دفن» را فعال می‌کند تا اجساد زنبورهای مرده را از کندو خارج کنند. اگر یک محقق قطره‌ای اسید اولئیک روی زنبور زنده بمالد، موجود بخت‌برگشته بوسیله سایر زنبورها کشان‌کشان از کندو بیرون برده شده و زنده‌زنده همراه با مردگان دور انداخته می‌شود.

مغز حشرات بسیار کوچکتر از مغز بوقلمون یا مغز انسان است. چشم حشرات، حتی چشم‌های بزرگ و پیچیده سنجاقک‌ها، تنها کسری از تیزبینی چشمان ما یا پرندگان را داراست. جدا از این، می‌دانیم که چشم حشرات دنیا را به شکلی کاملاً متفاوت از چشمان ما می‌بینند. جانورشناس بزرگ اتریشی، *کارل وان‌فریش*[3]، در سنین جوانی کشف کرد حشرات قادر به دیدن نور قرمز نیستند اما می‌توانند نور فرابنفش را که ما انسان‌ها نسبت به آن نابینا هستیم، با سایه‌رنگ مجزایش ببینند. چشم حشرات به میزان زیادی درگیر پدیده‌ای بنام «سوسو زدن» است که به نظر می‌رسد حداقل برای حشرات سریع، تا حدودی جایگزین مفهوم «شکل» باشد. دیده شده است پروانه‌های نر به برگ‌های مرده در حال افتادن درختان «اظهار عشق» کرده‌اند. ما پروانه ماده را مانند یک جفت بال بزرگ می‌بینیم که بالا و پایین پرمی‌زند. یک پروانه نر در حال پرواز او را به صورت «سوسوی نور» می‌بیند و برای اظهار عشق به سراغش می‌رود. با استفاده از یک لامپ استروبوسکپی[4] (لامپ چرخان) که حرکتی ندارد و فقط روشن و خاموش می‌شود، می‌توان او را گول زد. اگر سرعت چشمک‌زدن را بتوانید به شکلی مناسب تنظیم کنید، زنبور نر لامپ را به عنوان پروانه‌ای که در حال بال‌زدن با آن سرعت است، تلقی می‌کند. خطوط راه‌راه برای ما یک الگوی ایستاست. برای یک حشره که از کنار آن پرواز می‌کند، خطوط راه‌راه مانند «سوسوی نور» به نظر می‌رسد و با یک لامپ استروبوسکپی که با سرعت مناسب چشمک می‌زند،

---

۱ Schleidt lfgangWo
۲ acid leico
۳ Frisch von Karl
۴ lamp stroboscopic

می‌توان آنرا شبیه‌سازی کرد. دنیا از دید یک حشره به قدری برای ما بیگانه است که اظهارنظر کردن براساس تجربه شخصی در رابطه با «بی‌نقص بودن» تقلید گل ارکیده از بدن زنبور ماده تنها تصوراتی انسانی است.

زنبورها خود موضوع آزمایشات کلاسیکی بوده‌اند که در ابتدا توسط طبیعت‌شناس بزرگ فرانسوی *ژان هنری فابر*[۱] انجام شد و بوسیله محققان دیگر از جمله اعضای دانشکده تینبرخن ادامه یافت. زنبور ماده حفار در حالیکه شکار گزیده‌شده و فلج‌شده‌اش را با خود حمل می‌کند به لانه زیرزمینی‌اش بازمی‌گردد. قبل از ورود، شکارش را خارج از لانه رها می‌کند تا در ظاهر ابتدا داخل لانه را وارسی کرده، اطمینان حاصل نماید همه چیز مرتب است. سپس دوباره خارج شده و شکار را به داخل می‌کشد. وقتی زنبور داخل لانه است، محقق شکار را چند اینچ از جایی که او رها کرده بود، دور می‌کند. هنگامی که زنبور دوباره به سطح زمین بازمی‌گردد، متوجه نبود شکار شده و دوباره به سرعت آنرا جابجا می‌کند. سپس آنرا به جای قبلی جلوی ورودی لانه‌اش می‌کشد. هنوز چند ثانیه از زمانی که داخل لانه‌اش را وارسی کرد نگذشته است. به نظر ما واقعاً دلیل محکمی برای اینکه او به مرحله معمول بعدی نرود، و شکار را به داخل نکشد و کار را تمام نکند، وجود ندارد. اما برنامه او به مرحله قبل برگشته دوباره از اول آغاز می‌شود. او از روی وظیفه‌شناسی، دوباره شکار را بیرون از لانه رها کرده و برای وارسی مجدد به داخل لانه می‌رود. محقق می‌تواند این بازی را چهل بار تکرار کند تا زمانی که خودش خسته شود. اما زنبور درست مانند یک ماشین لباسشویی عمل می‌کند که به مرحله اول برنامه شستشو بازگردانده شده و «نمی‌داند» همان لباس‌ها را قبلاً چهل بار بی‌وقفه شسته است. دانشمند برجسته علوم کامپیوتری، *داگلاس هافستادر*[۲]، برای توصیف این رفتار ماشینی غیرمنعطف و بدون تعقل، صفت جدید «اسفکسی[۳]» (ازپیش‌برنامه‌ریزی‌شده) را بکار برده است (Sphex نام گونه‌ای از زنبور حفار است). پس حداقل از بعضی جهات، گول زدن زنبورها ساده است. البته این نوع گول‌زدن با شیوه‌ای که یک گل ارکید طراحی می‌کند، بسیار متفاوت است. با اینحال، باید در بکاربردن شهود انسانی و رسیدن به این نتیجه‌گیری که: «برای اینکه استراتژی تولید مثل اساساً موفق باشد، باید در همان بار نخست بدون عیب و ایراد با موفقیت صورت گرفته باشد.» احتیاط کرد.

ممکن است خیلی خوب توانسته باشم شما را متقاعد کنم فریب‌دادن زنبورها احتمالاً ساده است. ممکن است نسبت به آنچه فرستنده نامه به من مطرح نمود در ذهن شما شک و شبهه ایجاد شده باشد. اگر قدرت دید حشره تا این حد ضعیف است، و اگر زنبورها به این راحتی فریب می‌خورند، چرا ارکیده زحمت شبیه‌سازی گل به صورت زنبور را به خود می‌دهد؟ باید گفت بینایی زنبور همیشه آنقدرها هم ضعیف نیست. مواقعی وجود دارد که به نظر می‌رسد زنبورها بسیار خوب می‌بینند: به عنوان مثال، بازیابی موقعیت لانه هنگام بازگشت از یک پرواز طولانی برای شکار. تینبرخن این موضوع را روی Philanthus، نوعی زنبور حفار شکارچی

---

۱ Fabre Henri-Jean

۲ Hofstadter Douglas

۳ sphexish

زنبورکش، بررسی کرد. او منتظر می‌شود تا زنبور به داخل لانه زیرزمینی‌اش برود. و قبل از اینکه دوباره بیرون بیاید، تینبرخن به سرعت چند «نشانه» مانند ترکه چوب یا میوه کاج در اطراف ورودی لانه قرار می‌دهد. سپس بازمی‌گردد و منتظر می‌ماند تا زنبور خارج شود. زنبور پس از خروج، دو سه بار دور لانه پرواز می‌کند، گویی در حال عکسبرداری ذهنی از محل است، سپس در جستجوی شکار دور می‌شود. در غیاب زنبور، تینبرخن ترکه چوب و میوه کاج را چند متری از آنجا دور می‌کند. هنگامی که زنبور بازمی‌گردد، لانه‌اش را گم می‌کند و به جای آن در نقطه‌ای متناسب با موقعیت جدید ترکه چوب و میوه کاج، به داخل شن شیرجه می‌زند. به یک معنا زنبور باز هم «گول می‌خورد»، اما این بار باید از قدرت دید او تمجید کرد. به نظر می‌رسد «عکسبرداری ذهنی» واقعاً همان کاری بوده که او در پرواز اولیه به دور لانه انجام داده است. ظاهراً الگو، یا «گشتالتِ»، ترکه چوب و میوه کاج را شناسایی کرده است. تینبرخن چندین بار آزمایش را با نشانه‌های مختلف، مانند حلقه‌هایی از میوه کاج، تکرار می‌کند و نتایج مشابهی به دست می‌آورد.

جرارد بائرندز[1]، یکی از شاگردان تینبرخن، آزمایشی انجام داد که نتایج آن با آزمایش «ماشین لباسشویی» فابر، مغایرت شگفت‌انگیزی داشت. گونه زنبور حفار مورد مطالعه بائرندز، ***Ammophila campestris*** (گونه‌ای که فابر نیز مطالعه کرده بود)، از لحاظ «آذوقه‌رسانی تدریجی»، غیرعادی است. اغلب زنبورهای حفار آذوقه لانه زیرزمینی‌شان را تأمین کرده و تخم می‌گذارند، سپس در لانه را مسدود کرده و لارو جوان را به حال خود رها می‌کنند تا خودش از غذا تغذیه کند. اما آموفیلا (***Ammophila***) متفاوت است. او مانند یک پرنده هر روز به لانه‌اش سر می‌زند تا وضعیت لارو را بررسی کند و درصورت نیاز به آن غذا بدهد. تا اینجا موضوع غیرعادی نیست. اما یک آموفیلای ماده در آنِ واحد دو یا سه لانه دارد که باید هر بار به همه آنها سر بزند. یک لانه دارای لاروی نسبتاً بزرگ و تقریباً بالغ؛ یک لانه دارای لاروی کوچک و تازه از تخم درآمده؛ و دیگری احتمالاً دارای یک لارو با سن و ابعاد متوسط است. طبیعتاً این سه لارو هر یک دارای نیازهای غذایی متفاوتی بوده و مادر نیز متناسب با آن به آنها رسیدگی می‌کند. با انجام یک سری آزمایشات دقیق که شامل جابجایی محتویات لانه‌ها بود، بائرندز توانست نشان دهد زنبورهای مادر عملاً نیازهای غذایی متفاوت هر لانه را در نظر می‌گیرند. این مسئله در ابتدا هوشمندانه به نظر می‌رسد، اما بائرندز متوجه شد این موضوع به طرز غیرعادی و عجیبی چندان هوشمندانه نیست. اولین کاری که زنبور مادر هر روز صبح انجام می‌دهد سر زدن به تمام لانه‌های فعالش است. وضعیت هر لانه در این وارسی صبحگاهی که توسط مادر شناسایی می‌شود بر رفتار آذوقه‌رسانی او در بقیه طول روز تأثیر می‌گذارد. بائرندز پس از وارسی صبحگاهی مادر، هر چند بار که می‌خواست می‌توانست محتویات لانه را جابجا کند، و این کار هیچ تغییری در رفتار آذوقه‌رسانی زنبور مادر ایجاد نمی‌کرد. به نظر می‌رسد زنبور ماده دستگاه ارزیابی لانه را تنها برای وارسی صبحگاهی روشن می‌کند و سپس آنرا خاموش می‌کند تا برای ادامه روز انرژی کافی داشته باشد.

---

۱ Baerends Gerard

از طرف دیگر، این داستان نشان می‌دهد که تجهیزات پیچیده‌ای برای شمارش، اندازه‌گیری و حتی محاسبه در سر زنبور مادر وجود دارد. اکنون به راحتی می‌توان قبول کرد مغز زنبور تنها بوسیله شباهتی کاملاً دقیق بین گل ارکیده و زنبور ماده قابل‌فریب‌دادن است. اما در عین حال، داستان بائرندز حاکی از آن است که قابلیتی برای نابینایی انتخابی و فریب‌خوردن همانند آنچه در آزمایش ماشین لباسشویی دیدیم، وجود دارد، لذا اینکه شباهتی هر چند غیرکامل بین گل ارکیده و زنبور ماده کافی باشد قابل باور است. درسی که در اینجا باید گرفت این است که هیچگاه نباید قضاوت انسانی را مبنای ارزیابی اینگونه موضوعات قرار داد. عبارت زیر را هیچگاه نه خود به زبان بیاورید و نه کسی که آنرا می‌گوید، جدی بگیرید: «من نمی‌توانم قبول کنم که فلان یا بهمان چیز بر اثر انتخاب تدریجی تکامل یافته باشد.» من این نوع مغالطه را «استدلال ناشی از ناباوری شخصی[1]» می‌نامم. به کرّات ثابت شده است که این پیش‌درآمد یک تجربه ناخوشایند فکری است.

استدلالی که من آن را مورد انتقاد قرار می‌دهم، چنین می‌گوید: تکامل تدریجی فلان چیز نمی‌توانسته اتفاق بیافتد، زیرا «بدیهی است» اگر قرار بود آن چیز کار کند، فلان و بهمان باید کامل و بی‌نقص می‌بود. تا بدین جا، در پاسخم، شواهد کافی آوردم که زنبور و سایر حیوانات نسبت به ما دید بسیار متفاوتی به جهان دارند و در هر حال، حتی فریب دادن ما هم چندان دشوار نیست. اما مایلم استدلال‌های دیگری را مطرح کنم که بسیار متقاعدکننده‌تر و عمومی‌ترند. اجازه دهید برای دستگاهی که شرط کار کردن آن، بی‌عیب و نقص بودن است - چیزی که فرستنده نامه درمورد گل‌های ارکیده مقلد زنبور ادعا کرده بود - از کلمه «شکننده» استفاده کنم. نکته قابل‌توجه این است که در واقع بسیار دشوار است دستگاهی را تصور کرد که صددرصد شکننده باشد. یک هواپیما را نمی‌توان دستگاهی شکننده دانست، زیرا با اینکه همه ما ترجیح می‌دهیم زندگی خود را به یک بوئینگ ۷۴۷ که تمام ده‌ها هزار قطعه آن در شرایط ایده‌آل کار می‌کنند بسپاریم، در عین حال هواپیمایی که حتی یکی از اصلی‌ترین قطعات مانند یک یا دو موتورش را از دست داده باشد، همچنان قادر به پرواز است. یک میکروسکوپ، دستگاه شکننده به شمار نمی‌آید، زیرا با اینکه یک میکروسکوپ نامرغوب تصویری مبهم و تیره و تار ارائه می‌دهد، شما همچنان می‌توانید اشیاء کوچک را با آن بهتر از چشم غیرمسلح ببینید. رادیو هم دستگاه شکننده نیست؛ اگر بعضی قطعات آن دچار نقص شود، ممکن است کیفیت گیرندگی افت کند و صدای آن خشدار و نامفهوم گردد، با اینحال همچنان قادر خواهید بود کلمات را متوجه شوید. الان ده دقیقه است که از پنجره به بیرون خیره شده‌ام و در تلاشم یک مثال واقعاً خوب از دستگاه شکننده ساخت بشر به خاطر بیاورم، و تنها چیزی که به ذهنم می‌رسد، تاق قوسی است. یک تاق قوسی تا حدودی دارای خاصیت شکنندگی است بدین صورت که به محض اینکه دو طرف آن در وسط به هم رسید، دارای استحکام و ثباتی عالی خواهد بود. اما تا قبل از اینکه دو طرف قوس به هم برسد، هیچ یک از دو طرف قادر نیست خود را نگه دارد. یک تاق قوسی باید با کمک داربست مخصوص ساخته شود. داربست تا زمانیکه تاق قوسی کامل شود،

---

۱ Incredulity Personal from Argument

تکیه‌گاهی موقت برای آن فراهم می‌کند؛ سپس آنرا می‌توان برداشت و قوس برای مدت‌های مدید ثابت باقی خواهد ماند.

در فن‌آوری انسانی هیچ دلیلی وجود ندارد که یک دستگاه ذاتاً نباید شکننده باشد. روی تخته رسم، مهندسان آزادند دستگاهی طراحی کنند که درصورت نیمه کامل‌بودن به هیچ عنوان کار نکند. با این حال حتی در رشته مهندسی، پیدا کردن دستگاهی به معنای واقعی شکننده برای ما دشوار است. به عقیده من این مسئله درمورد مکانیزم‌های زنده بیشتر صادق است. بیایید به مثال‌هایی از جهان هستی که ادعا شده است مکانیزم‌هایی شکننده هستند و خلفتگرایان در مورد آنها تبلیغات گسترده‌ای می‌کنند، نگاهی بیاندازیم. مثال زنبور و گل ارکیده فقط نمونه‌ای از پدیده بسیار جالب تقلید است. تعداد کثیری از حیوانات و برخی از گیاهان به خاطر شباهت‌شان با اشیاء دیگر و اغلب با سایر حیوانات و یا گیاهان، یک مزیت به دست می‌آورند. تقریباً تمام جنبه‌های حیات از طریق تقلید به شکلی ترقی یا تنزل پیدا کرده است: بدست‌آوردن غذا (ببرها و پلنگ‌ها زمانیکه شکارشان را در سایه‌روشن بیشه‌زارها تعقیب می‌کنند، تقریباً نامرئی هستند؛ ماهیِ ماهیخوار شبیه قسمتی از کف دریاست که روی آن قرار می‌گیرد، و شکار خود را با یک «چوب ماهیگیری» دراز که در انتهای آن طعمه‌ای شبیه کرم قرار دارد، به سوی خود جلب می‌کند؛ کرم‌های شب‌تاب افسونگر ماده الگوی سوسوزدن جفت‌یابی سایر گونه‌ها را تقلید می‌کنند و در نتیجه نرها را به سوی خود جذب می‌کنند تا از آنها تغذیه کنند؛ ماهی‌های بلنی دندان‌شمشیری از سایر گونه‌های ماهی که متخصص تمیزکردن ماهی‌های بزرگ هستند، تقلید می‌کنند، سپس به محض اینکه اجازه دسترسی به آنها داده شد، باله‌های مشتری خود را گاز می‌گیرند؛ جلوگیری از خورده‌شدن (حیوانات شکارشونده گوناگون خود را شبیه به پوست درخت، ترکه‌های چوب، برگ‌های سبز تازه، برگ‌های خشک پیچ‌خورده، گل‌ها، تیغ گل‌ها، برگ گیاهان دریایی، سنگ‌ها، فضله پرندگان و حتی شبیه حیوانات سمی و زهردار درمی‌آورند)؛ دورکردن شکارچیان از بچه‌ها (آووست‌ها و بسیاری از پرندگانی که روی زمین لانه‌سازی می‌کنند، رفتار و طرز راه‌رفتن یک پرنده بال‌شکسته را تقلید می‌کنند)؛ سپردن مراقبت از تخم‌ها به پرندگان دیگر (تخم فاخته شبیه تخم گونه خاصی است که میزبان تخم فاخته می‌شود؛ ماده گونه خاصی از ماهی که تخم‌هایش را در دهان بارور می‌کند، دارای نقش و نگاری شبیه تخم در طرفین دهان خود است تا از طریق آن نرها را برای تخم‌گذاری واقعی در دهان و پرورش آنها جذب کنند).

در هر صورت این فکر انسان را وسوسه می‌کند که تقلید تا زمانیکه بی‌نقص و کامل نباشد، کارگر نخواهد بود. در مورد زنبور و گل ارکیده، بطور خاص، موارد متعددی از نقص ادراکی زنبور و سایر قربانیان تقلید را مطرح کردیم. قطعاً از دید ما، گل‌ارکیده از حیث شباهت به زنبور معمولی، زنبور عسل یا مگس آنقدرها عجیب و غریب نیست. شباهت یک حشره برگی به برگ از دید من بسیار دقیق‌تر است، شاید به این دلیل که چشمان من به چشم‌های یک شکارچی (مثلاً پرنده)، که هدف اصلی تقلید برگ بوده است، شبیه‌تر است.

اما دریافت‌های کلی‌تری وجود دارد که براساس آن نمی‌توان گفت تقلید باید از ابتدا کامل و بی‌نقص باشد تا کارگر بیافتد. حتی اگر چشمان شکارچی خوب کار کند ممکن است شرایط دید همواره ایده‌آل نباشد. علاوه‌براین، شرایط دید، تقریباً همواره ناچاراً زنجیره‌ای پیوسته از شرایط بسیار بد تا شرایط بسیار خوب است. شیئی را در نظر بگیرید که آنرا بسیار خوب می‌شناسید، به صورتیکه احتمال اینکه آنرا با چیز دیگری اشتباه بگیرید، در حد صفر است. یا یک شخص را در نظر بگیرید، به عنوان مثال یک دوست صمیمی، کسی که چهره‌اش برای شما کاملاً آشنا و واضح است و امکان اشتباه گرفتن او وجود ندارد. حال تصور کنید از فاصله‌ای دور به سمت شما می‌آید. فاصله باید به قدری زیاد باشد که او را اصلاً نبینید. و یک فاصله بسیار نزدیک که بتوانید تمام جزئیات چهره او، مژه‌ها و حتی حفره‌های پوست او را ببینید. در فواصل میانی، هیچ تغییرشکل ناگهانی وجود ندارد. قابلیت تشخیص چهره به صورت تدریجی کاهش یا افزایش می‌یابد. در جزوه‌های نظامی آموزش تیراندازی نوشته شده است: «در فاصله صد و هشتاد متری تمام اجزای بدن قابل‌تشخیص هستند. در فاصله دویست و هشتاد متری، طرح کلی صورت تار دیده می‌شود. در سیصد و هشتاد متری، صورت اصلاً مشخص نیست. در پانصد و پنجاه متری، سر یک نقطه و بدن شبیه به مخروط است. سوالی هست؟» هنگامی که دوست‌تان به سمت شما می‌آید، در یک فاصله مشخص ممکن است ناگهان او را تشخیص دهید. در این مورد، فاصله، شیبی تدریجی از *احتمال* تشخیص ناگهانی است.

فاصله، به نوعی، شیبی تدریجی از قابلیت رؤیت است. فاصله اساساً تدریجی است. برای هر میزان شباهت بین نمونه اصلی و تقلیدی، چه این شباهت بی‌نقص باشد یا اصلاً شباهتی در کار نباشد، یک فاصله خاص را می‌توان در نظر گرفت که در آن چشمان شکارچی فریب می‌خورد و یک فاصله اندکی کوتاه‌تر هم باید وجود داشته باشد که در آن احتمال فریب خوردن ضعیف‌تر است. با ادامه تکامل در حیوانات، انتخاب طبیعی باعث به کمال رسیدن تدریجی شباهت‌ها شده و در نتیجه فاصله حساسی که در آن فریب‌خوردن رخ می‌دهد، به تدریج کوتاه‌تر می‌شود. من از «چشمان شکارچی» به اختصار به جای «چشمان هر موجودی که نیاز به فریب خوردن دارد» استفاده می‌کنم. در برخی موارد، می‌تواند چشمان شکار، چشمان مادرخوانده، چشمان ماهی ماده، و غیره باشد.

من این اثر را در سخنرانی‌های عمومی برای کودکان به صورت زیر نمایش می‌دادم. همکار من، دکتر *جورج مک‌گاوین*[1]، از موزه دانشگاه آکسفورد، با ترکه‌های چوب، برگ و خزه برای من ماکتی از «کف جنگل» درست می‌کرد. با دقت بر روی آن ده‌ها حشره مرده قرار می‌داد. برخی از حشرات، مانند سوسک آبی متالیک، کاملاً قابل‌رؤیت بودند؛ برخی دیگر، از جمله حشرات چوب‌مانند، یا پروانه‌های برگ‌مانند، با ظرافت استتار شده بودند و بقیه، مثلاً سوسک خانگی، از نظر رویت حد واسط بودند. از چند کودک از بین حضار خواسته شد تا به

---

۱ McGavin George

آرامی به سمت تابلو بیایند و سعی کنند حشرات را پیدا کرده و وقتی یکی از آنها را دیدند، با صدای بلند اعلام کنند. وقتی فاصله آنها به قدر کافی زیاد بود، نمی‌توانستند حتی مشخص‌ترین حشره را ببینند. وقتی که نزدیکتر می‌شدند، ابتدا می‌توانستند حشرات قابل‌رؤیت را ببینند، سپس حشراتی مانند سوسک خانگی که مشخص‌تر بودند، و در نهایت آنهایی که به خوبی استتار شده بودند. حشراتی که به بهترین شکل استتار شده بودند، حتی زمانیکه کودکان در فاصله نزدیک به آنها خیره می‌شدند، غیرقابل رویت بودند، و هنگامی که آنها را به کودکان نشان می‌دادم، از تعجب دهانشان باز می‌ماند.

فاصله تنها خصوصیت تدریجی نیست که می‌توان این استدلال را در موردش مطرح نمود. تاریک و روشن غروب نمونه دیگری است. در ظلمات شب، تقریباً هیچ چیز را نمی‌توان دید، و حتی شباهت بسیار جزیی مقلد با نمونه اصلی پذیرفتنی خواهد بود. در آفتاب نیم‌روز، تنها یک تقلید بسیار دقیق می‌تواند از دیده شدن بگریزد. بین این دو زمان از شبانه‌روز، یعنی هنگام طلوع و غروب، همچنین در تاریکی شب یا در یک روز ابری با هوای گرفته، در مه یا در باران شدید، یک توالی یکدست و ممتد از قابلیت دید حکم‌فرماست. در اینجا هم، انتخاب طبیعی در خدمت افزایش تدریجی میزان شباهت خواهد بود، زیرا به ازای هر میزان نزدیکی شباهت، یک سطح از قابلیت دید وجود خواهد داشت که در آن میزان خاصی از شباهت باعث ایجاد تفاوت است. با ادامه تکامل، بهبود تدریجی شباهت به فرد امتیاز بقا می‌دهد، زیرا شدت نور لازم برای فریب‌خوردن به تدریج بیشتر می‌شود.

یک خصوصیت تدریجی دیگر زاویه دید است. تقلید خوب باشد یا بد، گاهی حشره کلاً از چشم شکارچی دور می‌ماند. و گاهی دیگر، در کمال بداقبالی با او کاملاً چشم در چشم می‌شود. باید زاویه دیدی وجود داشته و به حدی در حاشیه باشد که از آن زاویه حتی ضعیف‌ترین تقلید نیز بتواند از کشف‌شدن در امان بماند. یک زاویه دید دیگر نیز باید وجود داشته و به حدی در مرکز باشد که حتی زیرکانه‌ترین تقلیدها هم از آن زاویه کاملاً در معرض خطر باشند. بین این دو زاویه شیب پایداری از دید، یا یک توالی از زاویه‌ها وجود دارد. به ازای هر سطح معین از کیفیت تقلید، یک زاویه بحرانی وجود خواهد داشت که ذره‌ای پیشرفت یا پسرفت در آن باعث ایجاد تفاوت است. با ادامه تکامل، شباهت‌های باکیفیت‌تر مطلوبت‌تر می‌شوند، زیرا زاویه بحرانی برای فریب‌خوردن به تدریج مرکزی‌تر می‌گردد.

کیفیت کارکرد چشم و مغز دشمنان را نیز می‌توان به عنوان یک خصوصیت تدریجی دیگر در نظر گرفت، که پیشتر در این فصل به آن اشاره کردم. صرفنظر از میزان شباهت بین نمونه اصلی و تقلیدی، این احتمال وجود دارد که یک چشم فریب بخورد، درحالیکه چشم دیگر درست تشخیص دهد. در اینجا هم همراه با ادامه تکامل، شباهت‌هایی که کیفیت‌شان به صورت پایدار افزایش می‌یابد، مطلوبترند زیرا چشمان شکارچی که بر پیچیدگی آنها مدام افزوده می‌شود بهتر فریب داده می‌شوند. منظورم این نیست که شکارچیان به موازات بهبود تقلید دید بهتری پیدا می‌کنند، هرچند که احتمالش وجود دارد. منظور من این است که جایی در

طبیعت، شکارچیانی با چشمان قوی و شکارچیانی نیز با چشمان ضعیف وجود دارد. تمام این شکارچیان خطر به حساب می‌آیند. تقلید ضعیف تنها شکارچیانی با چشمان ضعیف را فریب می‌دهد. تقلید خوب تقریباً تمام شکارچیان را فریب می‌دهد. بین این دو یک توالی پیوسته‌ی ملایم وجود دارد.

اشاره به چشم ضعیف و چشم قوی ما را به معمای موردعلاقه خلقتگرایان می‌رساند. کاربرد یک نیمه از چشم چه می‌تواند باشد؟ چگونه یک چشم ناقص می‌تواند مطلوب انتخاب طبیعی باشد؟ من قبلاً به این پرسش پرداخته و طیفی از چشم‌های حدواسط از نمونه‌هایی که واقعاً در نژادهای مختلف جهان جانوران وجود دارد، ارائه داده‌ام. در اینجا باید در زمره خصوصیات تدریجی نظری که ایجاد کردم، چشم را نیز بگنجانم. یک خصوصیت تدریجی، به عبارتی یک توالی پیوسته از وظایف وجود دارد که چشم ممکن است برای آنها بکار گرفته شود. در حال حاضر من از چشمانم برای تشخیص حروف الفبا روی صفحه کامپیوتر استفاده می‌کنم. برای این کار باید چشم‌های خوب و تیزبینی داشته باشید. اکنون در سنی هستم که بدون کمک عینک نمی‌توانم مطالعه کنم. البته فعلاً نمره آنها بالا نیست. اما با بالارفتن سن، به صورت مستمر باید از عینک‌های قوی‌تری استفاده کنم. بدون عینک، به تدریج دیدن جزئیات ریز برایم دائماً سخت‌تر می‌شود. در اینجا با یک خصوصیت تدریجی دیگر یعنی توالی سن مواجه هستیم.

هر انسان معمولی صرفنظر از سنش، بینایی بهتری نسبت به یک حشره دارد. کارهایی وجود دارد که افرادی با دید نسبتاً ضعیف تا تقریباً نابینا قادرند با موفقیت انجام دهند. با دید نسبتاً تار هم می‌توانید تنیس بازی کنید، زیرا توپ تنیس شیء بزرگی است که حتی اگر خیلی هم واضح نباشد، می‌توان موقعیت و حرکت آنرا تشخیص داد. چشم‌های سنجاقک، براساس معیارهای ما ضعیف هستند، ولی براساس معیار حشرات کاملاً خوبند، سنجاقک می‌تواند به حشرات در حال پرواز حمله کند، کاری که به سختی ضربه‌زدن به توپ تنیس است. چشم‌های بسیار ضعیف‌تر را می‌توان برای کارهایی مانند جلوگیری از برخورد به دیوار یا سقوط از لبه پرتگاه یا داخل رودخانه بکار برد. چشم‌های از این هم ضعیفتر می‌توانند سایه‌ای که از بالای سر رد می‌شود را تشخیص دهند. سایه‌ای که می‌تواند یک ابر باشد یا یک شکارچی که بالای سر نازل می‌شود. چشم‌های بازهم ضعیف‌تر قادرند تفاوت بین شب و روز را تشخیص دهند. این توانایی علاوه بر منافع دیگر، برای تنظیم فصل جفت‌گیری و دانستن زمان خواب مفید است. وظایفی که چشم به عهده می‌گیرد به صورت یک توالی پیوسته است، به نحوی که برای هر سطح کیفیت، از قدرت دید بسیار ضعیف تا دید عالی، سطحی از وظیفه وجود دارد که در آن اندکی بهبود در قدرت دید تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای به دنبال خواهد داشت. پس، درک تکامل تدریجی چشم از مرحله ابتدایی و ناکامل، تا مرحله کمال که در شاهین یا یک فرد جوان می‌بینیم و توالی پیوسته از مراحل بینابینی، نباید دشوار باشد.

بنابراین، پرسش خلقت‌گرایان که «کاربرد یک نیمه چشم چه می‌تواند باشد؟» واهی و پاسخ آن بسیار ساده است. نصف یک چشم ۱ درصد بهتر از ۴۹ درصد یک چشم است، و ۴۹ درصد از ۴۸ درصد بهتر و تفاوت

آنها قابل‌ملاحظه است. به نظر می‌رسد، نمایشی به مراتب ملال‌آورتر در ورای این مکمل اجتناب‌ناپذیر وجود داشته باشد: «به عنوان یک فیزیکدان،[1] نمی‌توانم باور کنم برای تکامل اندام پیچیده‌ای همچون چشم از هیچ، زمان کافی وجود داشته است. آیا واقعاً باور دارید که زمان کافی وجود داشته است؟» هر دوی این پرسش‌ها از بحثی ناشی از ناباوری شخصی نشأت می‌گیرد. به هر حال، مخاطب پاسخ می‌خواهد، و من معمولاً به عظمت مطلق زمان زمین‌شناسی متوسل می‌شوم. چنانچه یک گام نشان‌دهنده یک قرن باشد، کل تاریخ بعد از میلاد را می‌توان در یک زمین بازی کریکت جا داد. برای رسیدن به خاستگاه جانوران چندسلولی[2] در همان مقیاس، باید تمام فاصله بین نیویورک در شرق تا سان‌فرانسیسکو در غرب آمریکا را طی کنید.

اکنون به نظر می‌رسد عظمت تکان‌دهنده زمان زمین‌شناسی همانند استفاده از یک پرس هیدرولیک برای شکستن فندق است. حرکت سلانه سلانه از ساحل شرقی تا ساحل غربی آمریکا می‌تواند زمان موجود برای تکامل چشم را به نمایش بگذارد. اما مطالعه جدید دو دانشمند سوئدی، *دن نیلسون*[3] و *سوزان پلگر*[4]، نشان می‌دهد کسری بسیار کوچک از این زمان نیز کفایت می‌کرده است. هنگامی که از «چشم» صحبت می‌شود، تلویحاً منظور چشم مهره‌داران است، اما چشمانی که بتوانند تصاویر قابل‌تشخیصی را ایجاد کنند، بین چهل تا شصت بار از ابتدا و به صورت مستقل در گروه‌های بسیار متنوع بی‌مهرگان، تکامل یافته‌اند. در این چهل و چند مورد تکامل مستقل، حداقل نه اصل مختلف طراحی تشخیص داده شده‌است، که شامل چشم‌های روزنه‌ای، دو نوع چشم لنز دوربینی، چشم‌های بازتاب‌دهنده منحنی‌شکل («آنتن بشقابی»)، و چند نوع چشم مرکب می‌باشد. نیلسون و پلگر روی چشم‌های دوربینی عدسی‌دار، مانند چشم‌های کاملاً تکامل‌یافته در مهره‌داران و اختاپوس متمرکز شدند.

شما زمان مورد نیاز برای این تعداد تغییر تکاملی را چگونه برآورد می‌کنید؟ برای تعیین اندازه هر گام تکامل باید واحدی پیدا کرد، و منطقی است که این واحد را به صورت درصدی از تغییر در آنچه از قبل وجود دارد، بیان کنیم. نیلسون و پلگر از تعداد تغییرات پی‌درپی یک درصد به عنوان واحدی برای اندازه‌گیری تغییر کمیت‌های آناتومیک استفاده کردند. این واحد، مانند کالری، که مقدار انرژی موردنیاز برای انجام مقدار مشخصی

---

۱ «امیدوارم این باعث رنجش کسی نشود. در دفاع از نظرم، مطلبی را به نقل از فیزیکدان برجسته، کشیش جان پلکینگ‌هورن (۱۹۹۴، صفحه ۱۶) منتشرشده در مجله *علم و ایمان مسیحیت*، در اینجا می‌آورم: فردی مانند ریچارد داوکینز می‌تواند در این مورد که چگونه غربال‌کردن و انباشت تفاوت‌های کوچک می‌تواند تحولاتی بزرگ ایجاد کند، تصویری متقاعدکننده ارائه دهد اما یک دانشمند فیزیکدان به طور غریزی مایل است در مورد تعداد مراحلی که طول می‌کشد تا یک سلول اندکی حساس به نور به چشم کامل یک حشره تبدیل شود و همینطور تعداد تقریبی نسل‌هایی که برای رخدادن جهش‌های مربوطه مورد نیاز است، تخمینی، هر چند تقریبی، به وی ارائه شود.»

multicellular ۲

Nilsson Dan ۳

Pelger Susanne ۴

کار است، واحدی راحت است. استفاده از واحد یک درصد هنگامی که تغییر در یک بعد باشد، بسیار ساده است. به عنوان مثال، در یک اتفاق غیرمحتمل اگر انتخاب طبیعی به مرغ بهشتی امکان دهد تا طول دمش را هر چقدر می‌خواهد افزایش دهد، چند مرحله نیاز است تا طول دم از یک متر به یک کیلومتر برسد؟ افزایش یک درصدی طول دم برای کسی که بطور تصادفی پرنده را تماشا می‌کند قابل‌تشخیص نخواهد بود. با اینحال، به طور شگفت‌انگیزی تعداد مراحل مورد نیاز برای اینکه طول دم به یک کیلومتر برسد قدری، کمتر از هفتصد مرحله است.

افزایش طول دم از یک متر به یک کیلومتر قابل قبول (و البته بسیار مسخره) است، اما تکامل یک چشم را چگونه بر حسب همان مقیاس می‌سنجید؟ مشکل اینجاست که در مورد چشم، باید کارهای متعددی در قسمت‌های بسیار زیادی به موازات هم رخ دهد. کار نیلسون و پلگر تهیه مدل‌های کامپیوتری از تکامل چشم برای پاسخ به دو سوال بود. اولین سوال اساساً پرسشی است که در صفحات قبل مکرراً مطرح کرده‌ایم، اما اکنون با استفاده از کامپیوتر آنرا به صورت سیستماتیک‌تری می‌پرسیم: آیا تغییری تدریجی و پیوسته که طی آن پوست صاف به چشم دوربینی کامل تبدیل شود به نحوی که هر تغییر میانی یک پیشرفت به حساب آید، وجود دارد؟ (برخلاف طراحان انسانی، انتخاب طبیعی نمی‌تواند تنزل کند - حتی اگر در پی آن کیفیت به مراتب بهتر و وسوسه‌انگیزی وجود داشته باشد) دومین سوال، پرسشی است که این بخش را با آن آغاز کردیم: چه مدت طول می‌کشد تا مقدار لازم از تغییرات تکاملی اتفاق بیافتد؟

نیلسون و پلگر در مدل‌های کامپیوتری‌شان تلاشی برای شبیه‌سازی مکانیزم داخل سلول نکردند. داستان‌شان را از پس از ابداع سلول حساس به نور- که می‌توانیم آنرا فوتوسل بنامیم - آغاز نمودند. در آینده جالب خواهد بود اگر یک مدل کامپیوتری دیگر را این بار در سطح داخل سلول بکار بگیریم تا نشان دهیم چگونه نخستین فوتوسل زنده با تغییر گام به گام یک سلول چندمنظوره به وجود آمده است. اما به هر حال باید از جایی شروع کرد، و نیلسون و پلگر از پس از ابداع فوتوسل آغاز کردند. آنها در سطح بافت کار می‌کردند: چیزی که از سلول‌های متعدد تشکیل شده بود تا سطح سلول‌های تکی. پوست یک بافت است، لایه داخل روده، ماهیچه و کبد هم به همین صورت. بافت‌ها تحت تأثیر جهش‌های تصادفی می‌توانند از طرق مختلفی تغییر کنند. لایه‌های بافت ممکن است از نظر مساحت بزرگ‌تر یا کوچک‌تر شوند. ممکن است نازک‌تر یا ضخیم‌تر شوند. بافت‌های شفاف مانند بافت عدسی چشم، می‌توانند ضریب شکست نور (قدرت انکسار نور) قسمت‌های موضعی بافت را تغییر دهند.

خوبی شبیه‌سازی چشم، در مقایسه با مثلاً شبیه‌سازی پای یوزپلنگ وحشی دونده، این است که راندمان چشم را می‌توان به آسانی با استفاده از قوانین ابتدایی اوپتیک اندازه‌گیری نمود. چشم بصورت مقطع عرضی دوبعدی نمایش داده می‌شود، و کامپیوتر به سادگی می‌تواند وضوح دید، یا وضوح فضایی آنرا به صورت یک عدد واقعی واحد محاسبه کند. رسیدن به یک عبارت عددی معادل برای کارایی پا یا ستون فقرات یوزپلنگ

وحشی بسیار سخت‌تر است. نیلسون و پلگر با یک شبکیه تخت در بالای یک لایه پیگمنت تخت که یک لایه شفاف تختِ محافظ روی آن قرار داشت، شروع کردند. اجازه داده شد تا ضریب شکست لایه شفاف تحت تاثیر جهش‌های تصادفی موضعی قرار گیرد. سپس به مدل اجازه دادند تا خود را به شکل دلخواه دفورمه کند، تنها شرط لازم این بود که هرگونه تغییر باید کوچک و حالت پیشرفته‌ای از وضعیت قبل باشد.

نتایج سریع و قاطع بود. همزمان با دفورمه شدن شکل مدل چشم بر روی صفحه کامپیوتر، منحنی افزایش وضوح دید بی‌درنگ از حالت مسطح آغازین تبدیل به یک تورفتگی کم‌عمق و سپس یک فنجان گود شد. لایه شفاف برای پرکردن گودی ضخیم‌تر شده و سطح بیرونی آن به نرمی به صورت منحنی برآمده شد. و سپس، تقریباً مانند یک ترفند جادویی، قسمتی از این پرشدگی شفاف فشرده شد و به صورت یک بخش فرعی موضعی و کروی با ضریب شکست بالاتر درآمد. افزایش ضریب شکست در همه قسمت‌ها یکسان نبود، بلکه به صورت شیبی از ضریب بود به نحوی که قسمت کروی به یک عدسی با دقت درجه‌بندی‌شده تبدیل شد. عدسی‌های مدرج برای عدسی‌سازان انسانی شناخته شده نیست اما در چشم موجودات زنده بسیار کاربرد دارد. انسان عدسی را با ساییدن شیشه به یک شکل خاص تولید می‌کنند. عدسی‌های مرکب، مانند عدسی‌های بنفش‌رنگ گران‌قیمت که در دوربین‌های مدرن استفاده می‌شود، از طریق قراردادن چند لنز روی هم ساخته می‌شوند، اما هر یک از این لنزها از شیشه‌هایی که ضخامت آنها در تمام سطح شیشه یکسان است، تولید می‌گردد. در حالی که، در یک عدسی مدرج، برعکس، ضریب شکست نور دائماً در داخل خود عدسی تغییر می‌کند. معمولاً ضریب شکست نور در نزدیک مرکز عدسی بیشتر است. چشم ماهی دارای عدسی مدرج است. مدت‌هاست ثابت شده که در عدسی‌های مدرج، بهترین نتیجه فاقد انحراف، زمانی بدست می‌آید که از لحاظ تئوری نسبت فاصله کانونی عدسی به شعاع آن به یک مقدار بهینه خاص برسد. این نسبت، نسبت ماتیسن (Mattiessen) نام دارد. مدل کامپیوتری نیلسون و پلگر بر اساس نسبت ماتیسن و با دقتی بالا طراحی شده است.

و حال در مورد این پرسش که تمام این تغییرات تکاملی چه مدت می‌تواند طول کشیده باشد. برای پاسخ‌گویی به آن، نیلسون و پلگر باید فرضیاتی را درمورد وراثت در جمعیت‌های طبیعی مطرح می‌کردند. باید مقادیر قابل‌قبولی از کمیت‌هایی مانند «قابلیت توارث[1]» را در مدل‌شان وارد می‌کردند. قابلیت توارث مقیاسی است برای سنجش میزان تاثیر وراثت بر تنوع. بهترین روش اندازه‌گیری آن عبارتست از بررسی میزان شباهت دوقلوهای تک‌تخمکی («یکسان») با یکدیگر در مقایسه با دوقلوهای معمولی. یک مطالعه نشان داده است که قابلیت توارث (وراثت‌پذیری) بزرگی پا در مردان ۷۷ درصد است. قابلیت توارث ۱۰۰ درصد به این معناست که می‌توان پای یک قل از دوقلوهای یکسان را برای تعیین دقیق طول پای قل دیگر اندازه‌گیری کرد، حتی اگر

---

۱ heritability

دوقلوها جدا از هم بزرگ شده باشند. قابلیت توارث ۰ درصد به این معناست که شباهت پای دوقلوهای تک‌تخمی به یکدیگر از شباهت پای آنها به پای اعضای تصادفی یک جمعیت مشخص در یک محیط خاص، بیشتر نیست. برخی دیگر از قابلیت‌های توارث اندازه‌گیری‌شده برای انسان عبارتند از ۹۵ درصد برای عرض سر، ۸۵ درصد برای قد نشسته (ارتفاع سر تا نشیمنگاه)، ۸۰ درصد برای طول بازو و ۷۹ درصد برای قامت.

قابلیت توارث اغلب بالاتر از ۵۰ درصد است، بنابراین نیلسون و پلگر با اطمینان خاطر قابلیت توارث ۵۰ درصد را در مدل چشم‌شان وارد نمودند. این فرض محافظه‌کارانه، یا «بدبینانه» بود. یک فرض بدبینانه، در مقایسه با فرض واقع‌گرایانه‌تر، مثلاً، قابلیت توارث ۷۰ درصد، اغلب برآورد نهایی زمان موردنیاز برای تکامل چشم را بالا می‌برد. آنها عمداً می‌خواستند تخمین بالایی داشته باشند زیرا ما بطور غریزی نسبت به تخمین کم زمان برای چیز پیچیده‌ای مانند تکامل چشم شکاک هستیم.

به دلیلی مشابه، آنها مقادیر بدبینانه‌ای برای ضریب تنوع (یعنی میزان تنوعی که معمولاً در جمعیت وجود دارد) و شدت گزینش (میزان شانس بقاء ناشی از دید بهتر) انتخاب نمودند. آنها حتی تا آنجا پیش رفتند که فرض کردند هر نسل جدید در هر نوبت تنها در یک بخش از چشم متفاوت است: یعنی تغییرات همزمان در قسمت‌های مختلف چشم، که می‌توانست تکامل را به میزان زیادی تسریع کند، کنار گذاشته شد. اما حتی با این فرضیات محافظه‌کارانه، مدت زمان لازم برای تکامل چشم ماهی از پوست صاف بسیار کوتاه بود: کمتر از چهار صد هزار نسل. برای حیوانات کوچک مورد بحث ما، می‌توان یک نسل را معادل یک سال فرض کرد، پس به نظر می‌رسد کمتر از نیم میلیون سال طول می‌کشد تا یک چشم دوربینی خوب تکامل پیدا نماید.

براساس نتایج کار نیلسون و پلگر، عجیب نیست که چشم «معمولی» حداقل چهل بار به صورت مستقل در جهان جانوری تکامل پیدا کرده باشد. برای هزار و پانصد بار تکامل پی‌درپی از صفر در هر رده زمان کافی وجود داشته است. با درنظرگرفتن طول مدت معمول هر نسل در حیوانات کوچک، زمان موردنیاز برای تکامل چشم، به دور از ساده انگاری، بسیار کوتاه‌تر از آن است که زمین‌شناسان بتوانند آنرا اندازه‌گیری کنند! از نظر زمین‌شناسی، در حد یک چشم بر هم زدن است.

کار خیر را در خفا انجام بده. یک ویژگی کلیدی تکامل، تدریجی بودن آن است. این مسئله یک قاعده کلی است تا یک واقعیت. اینکه برخی از دوره‌های تکامل ناگهانی اتفاق افتاده باشند ممکن است درست یا نادرست باشد. ممکن است رخدادهای بینابینی از تکامل‌های سریع، یا حتی جهش‌های ریز ناگهانی وجود داشته است - تغییراتی عمده که یک کودک را از هر دو والدش متمایز می‌کند. مطمئناً مواردی از انقراض ناگهانی موجودات وجود دارد - احتمالاً به خاطر بلاهای عظیم طبیعی مانند برخورد شهاب‌سنگ‌ها به زمین - و این حوادث خلاءهایی را به جا می‌گذارد که موجودات جایگزین با تکامل سریع آن را پر می‌کنند، مانند جایگزینی دایناسورها بوسیله پستانداران. در حقیقت، تکامل به احتمال زیاد همواره به صورت تدریجی نیست. با اینحال

هنگامی که برای شرح پیدایش چیزهای پیچیده و ظاهراً طراحی‌شده، مانند چشم، استفاده می‌شود، باید تدریجی باشد. زیرا اگر در این موارد تدریجی نباشد، قدرت توضیحی خود را تماماً از دست خواهد داد. در صورت نپذیرفتن حالت تدریجی در این موارد، باید به سراغ معجزه برویم، که عملاً معادل فقدان کامل توضیح و تفسیر است.

دلیل شگفت‌انگیز بودن چشم‌ها یا گل‌های ارکیده‌ای که زنبورها گرده‌افشانی آنها را انجام می‌دهند، غیرمحتمل بودن آنهاست. شانس ایجاد خودبخود آنها با بخت و اقبال بسیار پایین‌تر از آن است که در جهان واقعی بتوان وقوع آنرا تصور نمود. کلید این معما، وقوع تکامل تدریجی در گام‌های کوچک است، به صورتیکه هر گام با شانس مناسب و البته نه *بیش‌ازحد* مناسب رخ دهد. اما اگر تدریج در کار نباشد، راه حلی برای این معما وجود ندارد: بلکه فقط بازگویی خود معما به زبانی دیگر است.

گاهی اوقات تصور اینکه مراحل تدریجی میانی چه بوده‌اند، دشوار است. اینها چالش‌هایی برای قوه نبوغ ماست، اما اگر نبوغ ما از عهده آنها برنیاید، مشکل از نبوغ ماست. و این دلیلی برای عدم‌وجود مراحل تدریجی میانی به شمار نمی‌آید. یکی از دشوارترین چالش‌ها برای نبوغ ما پیداکردن مراحل تدریجی میانی برای «زبان رقص» مشهور زنبورهاست، که *کارل وان‌فریش* در تحقیقات کلاسیک خود که موجب شهرت وی گردید، آنرا کشف نمود. این محصول نهایی تکامل به قدری پیچیده، به قدری نوآورانه و به حدی دور از چیزی است که ما معمولاً از حشرات انتظار داریم، که تصور وجود مراحل تدریجی میانی بسیار دشوار است.

زنبورهای عسل محل دقیق گل‌ها را از طریق یک رقص که با دقت کدگذاری شده است، به یکدیگر اطلاع می‌دهند. اگر غذا به کندو بسیار نزدیک باشد، «رقص دایره‌وار» را انجام می‌دهند. این رقص تنها سایر زنبورها را تهیج می‌کند تا از کندو به سرعت خارج شده و بدنبال غذا نزدیکی کندو را جستجو کنند. این رقص ویژگی خاصی ندارد. اما آنچه *بسیار* قابل‌توجه است، رقصی است که در صورت وجود غذا در فاصله بسیار دور انجام می‌شود. زنبور جستجوگری که غذا را پیدا کرده است رقص به اصطلاح «دم‌جنبانی» انجام می‌دهد، شکل و زمان‌بندی این رقص به سایر زنبورها جهت و نیز فاصله محل را از کندو اطلاع می‌دهد. رقص دم‌جنبانی در داخل کندو و روی سطح عمودی شانه عسل انجام می‌شود. داخل کندوی عسل تاریک است و بنابراین رقص دم‌جنبانی بوسیله سایر زنبورها دیده نمی‌شود. بلکه آنرا حس می‌کنند، و می‌شنوند، زیرا زنبور رقصنده همراه با رقص نوعی صدای ریتمیک از خود ایجاد می‌کند. رقص به شکل عدد هشت انگلیسی که یک خط مستقیم از وسط آن عبور کرده باشد، انجام می‌شود. جهت خط مستقیم مانند کدی زیرکانه جهت غذا را نشان می‌دهد.

اما خط مستقیم رقص مستقیماً به جهت غذا اشاره نمی‌کند. امکان آن وجود ندارد، زیرا رقص بر روی سطح عمودی شانه عسل انجام می‌شود و حالت قرارگیری شانه عسل صرفنظر از اینکه غذا کجا قرار دارد، ثابت است. غذا باید در وضعیت افقی قرار گرفته باشد. شانه عسل عمودی بیشتر مانند نقشه‌ای است که روی دیوار

نصب شده است. خطی که روی نقشه دیواری رسم شده است مستقیماً به سمت یک مقصد مشخص اشاره ندارد، اما شما می‌توانید به شکل قراردادی جهت را بخوانید.

برای فهمیدن قراردادی که زنبورهای عسل استفاده می‌کنند، باید ابتدا بدانید که مانند خیلی از حشرات، زنبورها با استفاده از خورشید به عنوان یک قطب‌نما مسیریابی می‌کنند. ما نیز به صورتی تقریباً مشابه از این روش استفاده می‌کنیم. این روش دو ایراد دارد. ابتدا اینکه خورشید غالباً در پشت ابرها پنهان است. زنبورها این مشکل را با استفاده از حسی که ما فاقد آن هستیم، حل می‌کنند. باز هم این وان‌فریش بود که کشف نمود آنها می‌توانند جهت پلاریزاسیون (قطبش) نور را ببینند و این توانایی حتی درصورتیکه خورشید قابل‌رؤیت نباشد، محل خورشید را به آنها نشان می‌دهد. دومین مشکل قطب‌نمای خورشیدی این است که با گذشت ساعات روز خورشید هم در آسمان «حرکت می‌کند». زنبورها این مشکل را با استفاده از یک ساعت داخلی حل می‌کنند. وان‌فریش متوجه نکته اعجاب‌آوری شد. زنبورهای رقصنده که ساعت‌ها پس از سفر اکتشافی‌شان برای غذا در داخل کندو محصور شده‌اند به آرامی جهت خط مستقیم رقص را می‌چرخانند به نحوی که گویی این خط مستقیم عقربه ساعت‌شمار یک صفحه ساعت بیست و چهار شماره‌ای است. آنها نمی‌توانند از داخل کندو خورشید را ببینند، اما با کمک ساعت داخلی‌شان که جهت حرکت خورشید در خارج از کندو را به آنها می‌گوید به آرامی جهت رقص خود را کج می‌کنند تا با حرکت خورشید هماهنگ شود. جالب است که نژادهای زنبور نیم‌کره جنوبی نیز همانطور که باید همان کار را در جهت عکس انجام می‌دهند.

اکنون به سراغ خود کد رقص برویم. یک خط مسیر رقص که مستقیم به بالای شانه عسل اشاره دارد نشان می‌دهد غذا در جهتی است که خورشید قرار دارد. جهت مستقیم به سمت پایین دقیقاً جهت مخالف را نشان می‌دهد. کلیه زوایای میانی همان چیزی که انتظارش را دارید، نشان می‌دهد. پنجاه درجه در سمت چپ خط عمودی نشان‌دهنده ۵۰ درجه به سمت چپ جهت خورشید در سطح افقی است. با اینحال، دقت رقص در حد درجات نزدیک نیست. چرا باید باشد؟ ما به صورت قراردادی قطب‌نما را به ۳۶۰ درجه تقسیم می‌کنیم. اما زنبورها قطب‌نما را به حدود ۸ درجه زنبوری تقسیم می‌کنند. در واقع، این تقریباً همان کاری است که مسیریاب‌های غیرحرفه‌ای انجام می‌دهند. ما قطب‌نمای غیررسمی خود را به هشت قاچ تقسیم می‌کنیم: شمال، شمال‌شرقی، شرق، جنوب‌شرقی، جنوب، جنوب‌غربی، غرب، شمال‌غربی.

رقص زنبور فاصله غذا را نیز به صورت کد نشان می‌دهد. یا اینطور بگوییم، اجزای مختلف رقص - سرعت گردش، سرعت تکان‌دادن شکم، سرعت ایجاد صدا، همگی با فاصله غذا متناسب هستند، و هر یک از آنها یا ترکیبی از آنها می‌تواند بوسیله سایر زنبورها برای خواندن فاصله استفاده شود. هر چقدر غذا نزدیک‌تر باشد، سرعت رقص بیشتر است. این نکته را اینگونه به خاطر بسپارید: زنبوری که غذا را در نزدیکی کندو پیدا می‌کند طبعاً هیجان بیشتری دارد و نسبت به زنبوری که غذا را در فاصله دورتری پیدا کرده، کمتر خسته است. این

مسئله فقط *تکنیکی برای کمک به حافظه* نیست: بلکه همانطور که خواهیم دید، سرنخی را برای فهمیدن نحوه تکامل رقص به ما ارائه خواهد داد.

به طور خلاصه، زنبور جستجوگر یک منبع غذایی خوب را پیدا می‌کند. او به کندو بازمی‌گردد، درحالیکه باری از شهد گل و گرده همراه خود دارد، سپس بارش را به کارگران تحویل‌گیرنده می‌دهد. بعد رقص خود را آغاز می‌کند. جایی روی شانه عسل عمودی که مکان دقیقش چندان مهم نیست، به شکل عدد هشت انگلیسی کوچک شروع به چرخیدن می‌کند. کارگران دیگر دور او جمع می‌شوند و حالت او را حس کرده و به صدای او گوش می‌دهند. آنها سرعت صدای او و شاید سرعت گردش او را نیز می‌شمارند. و در حالیکه زنبور رقصنده شکمش را می‌جنباند، زاویه خط مستقیم رقص او را نسبت به خط عمودی اندازه‌گیری می‌کنند. سپس به درب کندو رفته و از تاریکی کندو به فضای روشن بیرون پرواز می‌کنند. آنها به موقعیت خورشید توجه می‌کنند - البته نه ارتفاع عمودی آن بلکه جهت قطب‌نمایی آن روی صفحه افقی. و در امتداد یک خط مستقیم پرواز می‌کنند. خطی که زاویه آن نسبت به خورشید منطبق با زاویه رقص زنبور جستجوگر نسبت به خط عمودی روی شانه عسل است. آنها همچنان در این جهت پرواز می‌کنند ولی نه برای فاصله‌ای نامعلوم بلکه برای مسافتی که (به صورت معکوس) متناسب است با (لگاریتم) سرعت صدای وزوز زنبور رقصنده اصلی. عجیب اینکه، اگر زنبور اصلی برای پیداکردن غذا از یک مسیر انحرافی پرواز کرده باشد، رقص خود را نه در جهت این مسیر انحرافی، بلکه در جهت اصلاح‌شده و قطب‌نمایی محل استقرار غذا انجام می‌دهد.

باورکردن داستان رقص زنبور دشوار است، و برخی آنرا دروغ می‌دانند. من در فصل بعدی، به سراغ شکاکان و آزمایشات جدیدی که نهایتاً دلایل صحت این نظریه را به طور قاطع اثبات نمودند، خواهم رفت. در این فصل، می‌خواهم تکامل تدریجی رقص زنبور را مورد بررسی قرار دهم. مراحل میانی این رقص در فرآیند تکامل چگونه می‌توانسته باشد، و هنگامی که رقص هنوز کامل نشده بود، زنبورها چکار می‌کردند؟

البته نحوه پرسیدن این سوال صحیح نیست. هیچ موجودی با «ناقص‌بودن» و «در مرحله میانی» بودن زندگی نمی‌کند. زنبورهای قدیمی که مدت‌ها قبل زندگی می‌کردند، یعنی آنهایی که ما اکنون با نگاه به گذشته، رقص‌های‌شان را مرحله‌ای میانی در مسیر رسیدن به رقص زنبورهای امروزی به شمار می‌آوریم، زندگی خوب و عادی داشتند. به عنوان زنبور زندگی آنها کامل بود و این تصور را نداشتند که «در مسیر» «بهترشدن» هستند. علاوه بر این، رقص زنبور «امروزی» ما ممکن است بهترین رقص نباشد اما شاید در آینده هنگامی که ما و زنبورهای امروزی از بین رفته‌ایم، به چیزی حتی دیدنی‌تر تبدیل شود. با اینحال، ما با یک پازل مواجه هستیم: رقص زنبورهای فعلی چگونه ممکن است به تدریج تکامل یافته باشد. این مراحل تدریجی میانی به چه شکل بوده و چگونه کار می‌کردند؟

وان‌فریش خود به این سوال پرداخت، و با بررسی شجره‌نامه و نگاه کردن به خویشاوندان دور اما امروزی زنبور عسل تلاش نمود آنرا پاسخ دهد. این خویشاوندان نیاکان زنبور عسل فعلی به حساب نمی‌آیند، زیرا معاصر با او زندگی می‌کنند. با اینحال ممکن است ویژگی‌هایی از نیاکان او را با خود داشته باشند. خود زنبور عسل یک حشره منطقه معتدله است که لانه خود را در تنه توخالی درختان یا غارها بنا می‌کند. نزدیک‌ترین خویشاوندان او زنبورهای حاره‌ای هستند که می‌توانند در محلی باز، شانه‌های عسل خود را از شاخه‌های بزرگ درختان یا بیرون‌زدگی صخره‌ها آویزان کنند. بنابراین، قادر هستند در حال رقصیدن خورشید را ببینند، و مجبور نیستند به قرارداد سطح عمودی «به عنوان» جهت خورشید متوسل شوند. خورشید می‌تواند در جای خودش باشد.

یکی از این اقوام حاره‌ای، زنبور عسل ریز *Apis florea*، روی سطح افقی بالای شانه عسل می‌رقصد. خط مستقیم رقص مستقیماً به سمت غذا اشاره می‌کند. هیچ نیازی به قرارداد نقشه‌ای نیست؛ اشاره مستقیم کافی است. مطمئناً، این حالت یک مرحله انتقالی قابل‌باور در مسیر رسیدن به رقص زنبور عسل به حساب می‌آید، اما هنوز باید در مورد مراحل میانی دیگر که قبل و بعد از این مرحله آمده‌اند، فکر کنیم. چه چیزی می‌تواند پیشگام رقص زنبور عسل ریز بوده باشد؟ چرا یک زنبور عسل که تازه غذا پیدا کرده است باید به شکل یک هشت انگلیسی که خط مستقیم وسط آن به سمت غذا اشاره دارد، بارها و بارها بچرخد؟ نظریه‌ای وجود دارد مبنی بر اینکه این رقص آمادگی بلندشدن برای پرواز است که به یک مراسم تبدیل شده است. طبق نظریه وان‌فریش، قبل از اینکه رقص تکامل پیدا کند، یک زنبور جستجوگر که تازه بار غذای خود را تحویل داده بود در همان جهت به پرواز درمی‌آمد تا به سمت منبع غذا پرواز کند. برای آماده شدن جهت بلندشدن و پرواز، صورت خود را در جهت صحیح می‌چرخاند و احتمالاً چند گام حرکت می‌کرد. مادامیکه سایر زنبورها ترغیب می‌شدند به دنبال زنبور رقصنده بروند، انتخاب طبیعی هرگونه تمایل به غلوکردن یا طولانی‌کردن آمادگی برای پرواز را می‌پسندید. احتمالاً رقص نوعی آمادگی برای بلندشدن است که به شکل آیینی تکرار می‌شود. این نظریه قابل‌باور است زیرا چه از رقص استفاده کنند یا نکنند، زنبورها غالباً از تاکتیک ساده‌تر دنبال‌کردن یکدیگر تا منبع غذایی استفاده می‌کنند. یک واقعیت دیگر که قابل‌باوربودن ایده فوق را تقویت می‌کند این است که زنبورهای رقصنده بال‌های‌شان را اندکی باز می‌کنند، به شکلی که گویی آماده پرواز شده‌اند و عضلات آنرا می‌لرزانند، البته نه با قدرتی که بتوانند پرواز کنند بلکه تا حدی که صدایی را که بخش مهمی از علامت رقص است، تولید کنند.

یک راه واضح برای طولانی‌ترکردن و اغراق در آمادگی برای بلندشدن، تکرار آن است. تکرار به معنای بازگشت به محل شروع و برداشتن مجدد چند گام به سمت غذاست. دو راه برای بازگشت به محل شروع وجود دارد: می‌توانید در انتهای هر مسیر به سمت راست یا چپ بپیچید. اگر همواره به سمت چپ یا همواره به سمت راست بپیچید، جهت صحیح بلندشدن و مسیر بازگشت به محل شروع نامشخص خواهد بود. بهترین راه برای

برطرف‌کردن این ابهام چرخش متناوب به راست و چپ است. که در نتیجه به انتخاب طبیعی الگوی هشت انگلیسی ختم شده است.

اما رابطه بین فاصله محل غذا و سرعت رقص چگونه تکامل پیدا کرده است؟ اگر سرعت رقصیدن با فاصله غذا رابطه مستقیم داشت (سرعت بیشتر = فاصله بیشتر)، توضیح آن دشوار بود. اما، به خاطر می‌آورید، در واقع عکس این است: هرچه غذا نزدیک‌تر باشد، سرعت رقص بیشتر است. این مسئله مشخصاً مسیر قابل‌باوری از تکامل تدریجی را مطرح می‌کند. قبل از اینکه رقص به شکل مناسب تکامل پیدا کند، زنبورهای جستجوگر احتمالاً مراسم تکرار آمادگی برای بلندشدن را بدون تغییر با سرعت خاصی انجام می‌دادند. سرعت رقص ممکن است اهمیتی نداشته است. ولی اگر چندین مایل با بار شهد و گرده برای رسیدن به کندو پرواز کرده باشید، آیا حس و حال این را دارید با سرعتی بالا بر روی شانه عسل بچرخید؟ خیر، احتمالاً خسته و بی‌رمق هستید. از سوی دیگر، اگر منبعی غنی از غذا در نزدیکی کندو کشف کرده باشید، سفر کوتاه شما به سمت کندو برای‌تان انرژی و سرحالی کافی باقی خواهد گذاشت. تصور اینکه چگونه یک رابطه تصادفی اولیه بین فاصله غذا و سرعت پایین رقص توانسته است به یک کد رسمی، قابل‌اطمینان، و پرتشریفات تبدیل شود، دشوار نیست.

اکنون به سراغ چالش‌برانگیزترین مرحله میانی برویم. چگونه یک رقص باستانی که در آن خط حرکت مستقیماً به سمت غذا اشاره می‌کرد به رقصی تبدیل شد که در آن زاویه خط حرکت نسبت به خط عمودی به رمزی برای زاویه بین محل غذا نسبت به خورشید مبدل شد؟ ضرورت این تبدیل از یک طرف به این خاطر بود که داخل کندوی زنبور عسل تاریک است و نمی‌توان خورشید را دید، از طرف دیگر هنگام رقص روی شانه عسل عمودی نمی‌توان مستقیماً به سمت غذا اشاره کرد مگر اینکه خود سطح به صورت اتفاقی به سمت غذا باشد. اما این مسئله برای نشان‌دادن ضرورت این تبدیل کفایت نمی‌کند. همچنین باید توضیح دهیم چگونه این تحول دشوار از طریق مجموعه‌ای محتمل از مراحل تدریجی میانی میسر شده است.

به نظر گیج‌کننده است اما حقیقتی در مورد دستگاه عصبی حشرات به کمک ما می‌آید. آزمایش جالب زیر روی حشرات گوناگونی، از سوسک گرفته تا مورچه انجام شده است. با سوسکی که در مقابل یک لامپ برق در امتداد یک تخته چوبی افقی در حال راه‌رفتن است، شروع کنیم. اولین کار نشان‌دادن این است که حشره در حال استفاده از یک قطب‌نمای نوری است. موقعیت لامپ را تغییر دهید. حشره متناسب با آن جهتش را تغییر خواهد داد. اگر فرضاً با زاویه ۳۰ درجه نسبت به نور در حال حرکت بود، مسیرش را تغییر خواهد داد تا زاویه ۳۰ درجه را نسبت به موقعیت جدید نور حفظ کند. در واقع با استفاده از شعاع نور به عنوان یک سکان، می‌توانید سوسک را به هر طرف که می‌خواهید بکشید. مدت‌هاست از این حقیقت درمورد حشرات آگاه هستیم: آنها از خورشید (یا ماه و ستارگان) به عنوان یک قطب‌نما استفاده می‌کنند، و شما به سادگی می‌توانید حشرات را با یک لامپ گول بزنید. تا اینجا ساده بود. اکنون به سراغ آزمایش جالب‌مان برویم. چراغ را خاموش کرده و همزمان تخته را به حالت عمودی بلند کنید. سوسک بدون اینکه اهمیتی بدهد، به راهش ادامه می‌دهد. و

شگفت این که، جهت حرکت خود را تغییر می‌دهد تا زاویه‌اش نسبت به خط عمودی برابر با زاویه قبلی نسبت به چراغ باشد: یعنی ۳۰ درجه در مثال ما. هیچکس نمی‌داند چرا این مسئله رخ می‌دهد، اما در هر صورت اتفاق می‌افتد. به نظر می‌رسد این امر نشان‌دهنده یک تغییر ناگهانی در دستگاه عصبی حشره باشد - نوعی سردرگمی حس‌ها، اتصالی بین سیم حس جاذبه و حس بینایی، شاید کمی مشابه زمانیکه در برخورد جسمی با سرمان، برق نور می‌بینیم. به هر حال، احتمالاً پل ارتباطی لازم را برای تکامل کد «خط عمودی نشان‌دهنده خورشید است» ارائه داده باشد، همان کدی که در رقص زنبور عسل استفاده می‌شود.

پر واضح است، اگر چراغی را داخل کندو روشن کنید، زنبورهای عسل حس جاذبه خود را رها نموده و از جهت نور برای نشان‌دادن مستقیم خورشید در کدشان استفاده می‌کنند. این حقیقت که مدت‌های طولانی است با آن آشنایی داریم، در یکی از هوشمندانه‌ترین آزمایشاتی که تابحال انجام شده است، مورداستفاده قرار گرفت. آزمایشی که نهایتاً ادله قطعی برای کارکرد واقعی رقص زنبور عسل را اثبات نمود. در فصل بعدی به این مورد خواهم پرداخت. در ضمن، ما مجموعه‌ای از مراحل تدریجی میانی و محتمل را یافتیم که با کمک آنها رقص زنبور عسل امروزی توانسته است از مراحل ساده اولیه تکامل پیدا کند. این داستان آنگونه که من تعریف کردم، ممکن است براساس نظرات وان‌فریش، در واقع صحیح نباشد. اما چیزی تقریباً شبیه به آن مطمئناً رخ داده است. این داستان را در پاسخ به شکاکیت طبیعی - استدلال ناشی از ناباوری شخصی - تعریف کردم. شکی که در مردم در مواجه با یک پدیده طبیعی بسیار هوشمندانه و پیچیده در مردم ایجاد می‌شود. یک فرد شکاک می‌گوید: «من نمی‌توانم مجموعه‌ای از حالت‌های میانی احتمالی را تصور کنم، پس این پدیده بوسیله یک معجزه ناگهانی رخ داده است و هیچ مرحله میانی در کار نبوده است.» وان‌فریش مجموعه‌ای محتمل از مراحل میانی را ارائه داده است. حتی اگر این مجموعه صددرصد صحیح نباشد، این حقیقت که قابل‌باور است، برای ردکردن استدلال ناشی از ناباوری شخصی کافی است. همین مسئله درمورد سایر مثال‌های مطرح‌شده، صدق می‌کند. از گل ارکیده مقلد زنبور گرفته تا چشمان دوربینی.

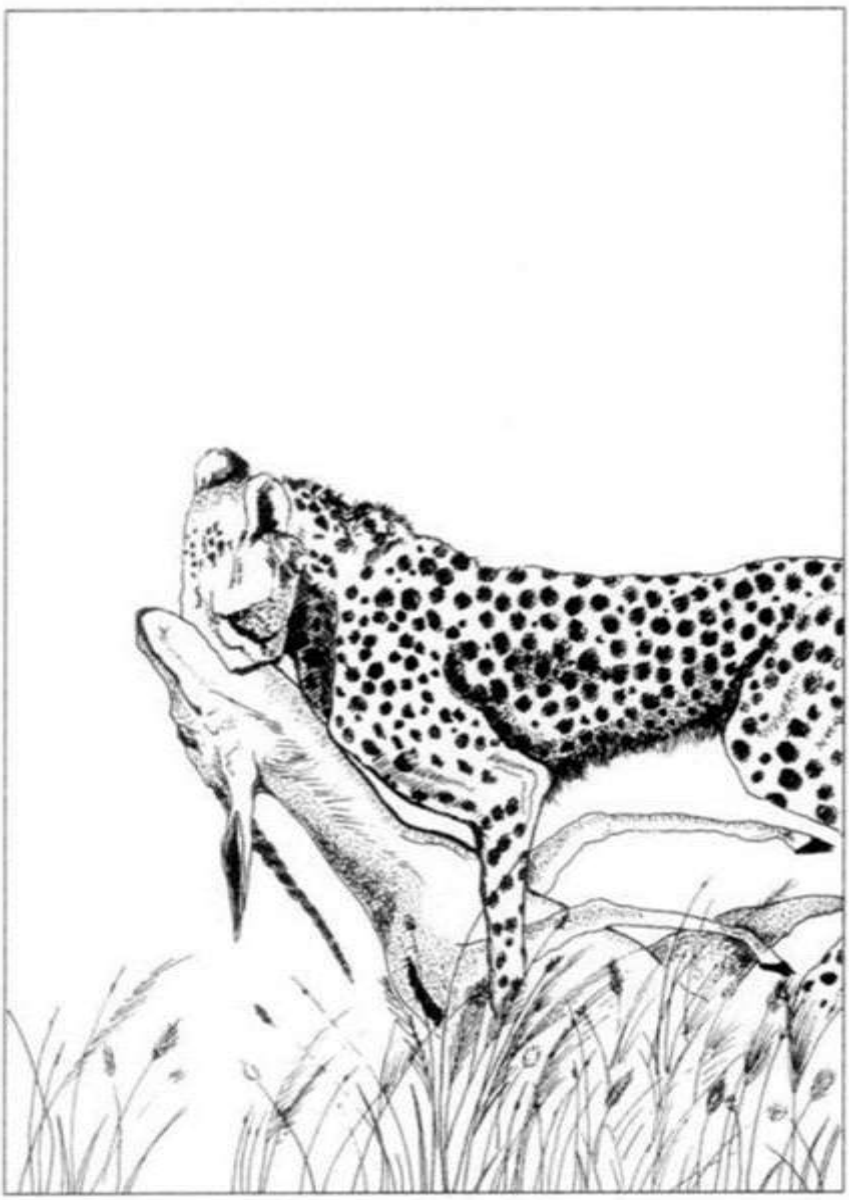
کسانی که درمورد داروینیسم تدریجی شک و تردید دارند، می‌توانند هر تعداد از حقایق عجیب و جذاب طبیعت را که می‌خواهند، ذکر کنند. به عنوان مثال از من خواسته شده است در مورد تکامل تدریجی جانورانی که در گودال‌های عمیق اقیانوس آرام زندگی می‌کنند، در جاییکه ظلمات کامل برقرار است و فشار آب از ۱۰۰۰ اتمسفر هم بالاتر است، توضیح بدهم. جمعیت کاملی از حیوانات اطراف دهانه‌های داغ آتش‌فشانی در گودال‌های اقیانوس آرام رشد کرده‌اند. یک بیوشیمی جایگزین کامل بوسیله باکتری‌ها و با استفاده از گرمای دهانه آتشفشان و سوخت‌وساز گوگرد به جای سوخت‌وساز اکسیژن صورت می‌گیرد. درست مانند حیات عادی که برای کسب انرژی از خورشید به گیاهان سبز وابسته است، جامعه حیوانات بزرگ‌تر در گودالها اساساً به این باکتری‌های گوگردی متکی است.

حیوانات این جامعه گوگردی همگی اقوام حیوانات معمولی هستند که در جاهای دیگر زندگی می‌کنند. تکامل آنها به چه صورت بوده و مراحل میانی تکامل آنها چه بوده است؟ نحوه استدلال در اینجا دقیقاً مانند قبل است. برای توضیح‌مان حداقل به یک خصوصیت تدریجی طبیعی احتیاج داریم، و خصوصیات تدریجی با پایین‌رفتن در عمق دریا به وفور یافت می‌شوند. هزار اتمسفر فشار بسیار سهمناکی است، اما مقدار آن تنها یک درجه از ۹۹۹ اتمسفر بیشتر است که به نوبه خود تنها یک درجه از ۹۹۸ بیشتر است و الی آخر. عمق دریا از صفر سپس مقادیر میانی و نهایتاً تا ۱۰،۰۰۰ متر افزایش می یابد. فشار هم به تدریج از یک اتمسفر تا ۱۰۰۰ اتمسفر تغییر می‌کند. شدت نور به تدریج از آفتاب پرنور در نزدیکی سطح آب تا تاریکی مطلق در اعماق دریا، جایی که در آن تنها سوسوی گاه‌وبی‌گاه نور باکتری‌های درخشان موجود در اندام نورانی ماهی‌ها به چشم می‌خورد، متغیر است. هیچ مرز جداکننده مشخصی وجود ندارد. برای هر سطح از قبل انطباق با آن صورت گرفته است، طرحی از یک حیوان وجود خواهد داشت که اندکی با حیوانات فعلی متفاوت است، به صورتیکه می‌تواند در عمق یک بغل[۱] (یا قولاج، واحد عمق‌پیمایی دریایی) پایین‌تر و یک لومن[۲] (واحد میزان انتشار نور) تاریک‌تر زنده بماند. به هر حال این فصل کوتاه‌تر از آن است که بتوان به همه مثال‌ها پرداخت. به قول شرلوک هولمز: «تو که روش کار من رو بلدی واتسون، ازش استفاده کن.»

---

۱ fathom

۲ lumen



فصل چهارم
تابع مطلوبیت خداوند

کشیشی که در فصل پیش در مورد نامه‌اش صحبت کردم، ایمانش را از طریق یک زنبور یافته بود. چارلز داروین ایمانش را به لطف یک زنبور دیگر از دست داد: «نمی‌توانم خودم را قانع کنم خداوند رحمان و قدر قدرت از روی عمد زنبورهای عقربی را با این نیت آشکار آفریده باشد که از بدن کرم‌های پیله زنده ابریشم تغذیه کنند.» در واقع، بی‌ایمان‌شدن تدریجی داروین، که از ترس آزرده‌خاطرشدن همسر معتقدش، *اما*، آنرا مهم جلوه نمی‌داد، دلایل پیچیده دیگری داشت. اشاره او به زنبور عقربی موجز و مختصر بود. عادت‌های خوفناکی که داروین به آنها اشاره کرد در خویشاوندان زنبور عقربی، یعنی زنبورهای حفار، که در فصل پیش با آنها آشنا شدیم نیز وجود دارد. یک زنبور حفار ماده نه تنها در بدن یک کرم ابریشم (یا ملخ یا زنبور) تخم‌ریزی می‌کند تا لاروهایش بتوانند از آن تغذیه کنند، بلکه طبق یافته‌های فابر و دیگران، به دقت نیشش را به داخل هر یک از گره‌های دستگاه عصبی مرکزی شکار فرو می‌کند تا او را فلج کند، *بدون اینکه او را بکشد*. بدین شکل، گوشت تازه می‌ماند. مشخص نیست این فلج‌کردن به عنوان بی‌هوشی عمومی عمل می‌کند، یا مانند *زهر کورار*[1]، فقط توانایی حرکت قربانی را از او می‌گیرد. در حالت دوم، شکار ممکن است از زنده زنده خورده‌شدن خود از داخل بدنش آگاه باشد اما برای نجات خود هیچ کاری از دستش برنمی‌آید. به نظر بسیار بی‌رحمانه و وحشیانه است، اما همانطور که خواهیم دید، طبیعت سنگدل نیست، تنها به صورت بی‌رحمانه‌ای بی‌تفاوت است. این یکی از سخت‌ترین درس‌هایی است که انسان‌ها می‌توانند بیاموزند. پذیرفتن این حقیقت که رخدادهای طبیعی نه خیر هستند و نه شر، نه ظالمانه هستند و نه رئوف، بلکه تنها عاری از احساس، بی‌تفاوت به تمام رنج‌ها و فاقد هیچگونه هدفی هستند، برای ما ممکن نیست.

ما انسانها دائماً در ذهنمان دنبال هدف و مقصود هستیم. برای ما دشوار است به چیزهای اطراف خود نگاه کنیم و از خودمان درمورد دلیل، انگیزه و هدف آنها سوال نکنیم. وقتی که وسواس درمورد مقصود و منظور به شکل بیمارگونه درآید، نام آن «پارانویا» (کژپنداری) خواهد شد: برای چیزی که در واقع تنها یک بدشانسی تصادفی بوده است، هدفی همراه با سوءنیت می‌تراشیم. اما این ذهنیت صرفاً شکل اغراق‌آمیز توهمی تقریباً فراگیر است. هر شیء یا فرآیندی را که می‌بینیم، برای ما دشوار است درمورد چرائی آن - اینکه «به چه درد می‌خورد؟» پرسش نکنیم.

میل دیدن هدف در همه جا در موجودی که با ماشین‌ها، کارهای هنری، ابزار و مصنوعات طراحی‌شده دیگر احاطه شده است، یک میل طبیعی است. علاوه بر این، انسان موجودی است با ذهنی مملو از اهداف

---

۱ curare

شخصی او. یک خودرو، یک قوطی‌بازکن، یک پیچ‌گوشتی یا یک چنگک، در مورد همه آنها می‌توان به شکل موجهی سوال «به چه درد می‌خورد؟» را پرسید. نیاکان بی‌دین ما هم زمانی همان پرسش را درمورد رعدوبرق، خسوف و کسوف، سنگ و جوی آب می‌پرسیدند. اما امروزه از اینکه از شر افکار بدوی روح‌گرایی (اعتقاد به وجود ارواح و اجنه و شیاطین و غیره) خلاص شده‌ایم، به خود می‌بالیم. اگر یک سنگ به طور اتفاقی در وسط جوی آب قرار داشته باشد و برای ما امکان عبور از عرض جوی را فراهم کند، ما این جنبه از مفیدبودن آنرا تنها یک امتیاز اتفاقی در نظر می‌گیریم نه هدف واقعی آن. اما زمانیکه مصیبتی ناگهانی بر سر ما فرومی‌آید، همان وسوسه قدیمی با حسی از کینه به سراغ ما می‌آید، استفاده از عبارت «به سراغ کسی آمدن» هم حکایت از اندیشه روح‌گرایی دارد: «چرا، آخر چرا، سرطان/زلزله/طوفان باید سراغ بچه *من* بیاید؟» و هنگام صحبت از خاستگاه تمام اجزای عالم و قوانین بنیادی فیزیک، همین وسوسه اغلب موجب حظّ فراوان خلقت‌گرایان است، و نهایتاً به این پرسش هستی‌شناسانه ولی پوچ ختم می‌شود: «چرا به جای اینکه هیچ چیز وجود نداشته باشد، چیزی وجود دارد؟»

تعداد دفعاتی که پس از اتمام سخنرانی‌هایم، شخصی از بین حضار بلند شده و چیزی با این مضمون گفته است، از شمار خارج است: «شما دانشمندان خیلی خوب می‌توانید به سوالات «چگونه/چطور» پاسخ بدهید. اما باید قبول کنید در جواب دادن به سوالات «چرا/به چه منظور» ناتوانید.» شاهزاده فیلیپ، دوک ادینبورو، هنگامی که به سخنرانی همکار من، دکتر *پیتر اتکینس*[1]، در ویندسور گوش می‌داد، دقیقاً همین موضوع را مطرح نمود. در ورای این سوال، همواره، تلویحاً این منظور نهفته است: از آنجا که علم قادر به پاسخگویی به سوالات «چرا/به چه منظور» نیست، پس مجبوریم به سراغ یک رشته دیگر برویم که صلاحیت پاسخگویی به آنها را *داشته باشد*. این اشاره ضمنی قطعاً بسیار غیرمنطقی است.

متأسفانه دکتر اتکینس آنگونه که باید و شاید پاسخ شاهزاده را نداد. امکان طرح یک پرسش الزاماً به این کار مشروعیت و معقولیت نمی‌بخشد. چیزهای فراوانی وجود دارد که درمورد آنها می‌توانید سوال بپرسید، مثلاً «دمای هوا چقدر است؟» یا «طلا چه رنگی است؟» اما نمی‌توانید همان پرسش را درمورد حسادت یا دعا بپرسید. به همین نحو، اجازه دارید پرسش «چرا/به چه منظور» را درمورد سپر دوچرخه یا سد *کاریبا* در آفریقا بپرسید، اما در بهترین حالت حق ندارید *فرض کنید* پرسش «چرا/به چه منظور» درمورد یک تخته سنگ، یک بدشانسی، کوه اورست یا کائنات، شایسته پاسخگویی است. سوالات هر چقدر هم از روی سادگی پرسیده شده باشند، ممکن است سوالاتی بجا نباشند.

موجودات زنده بین برف‌پاک‌کن و قوطی‌بازکن از یک طرف و سنگ و کائنات از طرف دیگر قرار می‌گیرند. بدن‌های زنده و اندام‌های آنها اشیائی هستند که، بر خلاف سنگ‌ها، به نظر می‌رسد هدف مشخصی

---

۱ Atkins Peter

برای آنها نوشته شده است. البته، بدبختانه، این هدفمندی ظاهری جانداران موضوع غالب برهان کلاسیک نظم است که از توماس آکویناس[1] گرفته تا *ویلیام پیلی*[2] تا خلقت‌گرایان به اصطلاح «علمی» مدرن آن را مطرح کرده‌اند.

فرآیند واقعی که توهمِ قویِ طراحیِ هدفمند را به بال‌ها، چشم‌ها، منقارها، غریزه لانه‌سازی و تمام موارد مربوط به حیات بخشیده است، اکنون به خوبی قابل درک است. این فرآیند، انتخاب طبیعی داروینی است. درک ما از آن به طور شگفت‌آوری جدید است و تنها یک قرن و نیم قدمت دارد. قبل از داروین، حتی افراد تحصیل‌کرده که پرسش «چرا/به چه خاطر» را درمورد سنگ‌ها، جوی‌ها، و خسوف و کسوف کنار گذاشته بودند، همچنان به صورت ضمنی مشروعیت پرسش «چرا/به چه خاطر» را درمورد موجودات زنده می‌پذیرفتند. اکنون تنها کسانی که از نظر دانش علمی بی‌سواد به حساب می‌آیند، پرسش چرایی را درمورد موجودات زنده مطرح می‌کنند. اما باید این واقعیت تلخ را اذعان داشت که اکثریت مطلق عامه‌ی مردم در این دسته قرار می‌گیرند.

البته داروین‌گرایان نوعی پرسش «چرا/به چه خاطر» را درمورد موجودات زنده مطرح می‌کنند، اما آنرا در مفهومی ویژه و استعاری به کار می‌برند. چرا پرندگان آواز می‌خوانند، و بال‌ها برای چه استفاده می‌شوند؟ چنین سوالاتی از سوی داروین‌گرایان مدرن به عنوان نوعی ارجاع مختصر پذیرفته می‌شوند و پاسخ‌های معقولانه‌ای از نظر انتخاب طبیعی نیاکان پرندگان به آنها داده می‌شود. توهم وجود هدف چنان قوی است که زیست‌شناسان خود نیز از فرضیه طراحی خوب به عنوان نوعی ابزار استفاده می‌کنند. همانطور که در فصل قبل دیدیم، کارل وان‌فریش مدت‌ها قبل از کار تاریخ‌ساز خود روی رقص زنبورها، علی‌رغم مخالفت با عقاید افراطی مرسوم، متوجه شد برخی حشرات دارای دید رنگی واقعی هستند. انگیزه آزمایشات تعیین‌کننده او این مشاهده ساده بود: گل‌هایی که زنبورها گرده‌افشانی آنها را انجام می‌دهند برای آنکه پیگمنت‌های رنگی تولید کنند، دردسرهای زیادی را متحمل می‌شوند. اگر زنبورها کوررنگ هستند، چه دلیلی دارد گل‌ها این کار را انجام دهند؟ استعاره‌ی «هدفمندبودن» - یا به طور دقیق‌تر، فرض اینکه انتخاب داروینی در این مورد دخیل است - در اینجا برای رسیدن به یک استنتاج محکم درمورد جهان بکار گرفته شده است. اگر وان‌فریش می‌گفت: «گل‌ها رنگی هستند، در نتیجه زنبورها باید دارای دید رنگی باشند» عبارتی کاملاً اشتباه می‌بود. اما درست این بود که می‌گفت (همچنان که گفت): «گل‌ها رنگی هستند، بنابراین، حداقل ارزش آن را دارد که من تلاش کنم و آزمایشات جدیدی را برای بررسی این فرضیه که زنبورها دارای دید رنگی هستند، انجام دهم.». چیزی که در هنگام کندوکاو دقیق‌تر جزئیات مسئله یافت این بود که زنبورها دارای دید رنگی بهتری هستند اما طیفی که آنها می‌بینند نسبت به طیف رنگ‌هایی که ما می‌بینیم، متفاوت است. آنها نمی‌توانند رنگ قرمز را ببینند (ممکن است رنگی که ما قرمز می‌خوانیم آنها «مادون‌زرد» بنامند). اما می‌توانند محدوده طول موج‌های کوتاه‌تر را که ما

---

۱ Aquinas

۲ Paley William

فرابنفش می‌نامیم، ببینند، و رنگ فرابنفش را به عنوان یک رنگ مجزا که برخی اوقات «بنفش زنبوری» نامیده می‌شود، می‌بینند.

هنگامی که وان‌فریش دریافت زنبورها بخش فرابنفش طیف نور را می‌بینند، مجدداً با استفاده از استعاره هدف، استدلالی مطرح نمود. وی از خود پرسید، حس فرابنفش برای زنبورها چه کاربردی دارد؟ ذهن او ۱۸۰ درجه به سمت گل‌ها چرخید. اگرچه ما قادر به دیدن نور فرابنفش نیستیم، اما می‌توانیم فیلم‌های عکاسی حساس به این نور را بسازیم، یا می‌توانیم فیلترهایی درست کنیم که نور فرابنفش را از خود عبور می‌دهند اما مانع عبور نور «مرئی» می‌شوند. وان‌فریش با اتکا به حدسیات خود، چند عکس فرابنفش از گل‌ها گرفت. در کمال شگفتی، طرح‌های نقطه‌ای و نواری را مشاهده کرد که قبلاً چشم هیچ انسانی آنها را ندیده بود. گل‌هایی که به نظر ما سفید یا زرد هستند در واقع با طرح‌های فرابنفش تزئین شده‌اند، که اغلب مانند علائم روی باند پرواز، زنبورها را به سمت شهد راهنمایی می‌کنند. فرضیه هدفِ مشخص بار دیگر نتیجه داد: اگر گل‌ها به خوبی طراحی شده باشند، از این واقعیت که زنبورها می‌توانند طول‌موج‌های فرابنفش را ببینند، بهره‌برداری کامل می‌کنند.

هنگامی که وان‌فریش در سنین پیری به سر می‌برد، مشهورترین کار او، یعنی تحقیق او درمورد رقص زنبورها که در فصل قبل بررسی کردیم، توسط یک زیست‌شناس آمریکایی به نام *آدریان ونر*[1] زیر سوال برده شد. خوشبختانه، عمر وان‌فریش به قدری دراز بود که بتواند رفع شک و شبهه‌های مطرح‌شده درمورد کارش را بوسیله یک آمریکایی دیگر، یعنی جیمز ال گولد[2]، استاد دانشگاه پرینستون، در یکی از بهترین آزمایشات انجام‌شده در زیست‌شناسی، ببیند. در اینجا به اختصار داستان را برای شما تعریف می‌کنم زیرا به نکته‌ای که درمورد قدرت فرضیه «طرح هدفمند» مطرح نمودم، مرتبط است.

ونر و همکارانش منکر مسئله وقوع رقص نبودند. حتی این مسئله را رد نکردند که رقص تمام اطلاعاتی که وان‌فریش مدعی آن بود را در خود داشت. آنچه آنها انکار نمودند درک رقص توسط سایر زنبورها بود. ونر می‌گفت، بله، درست است که جهت خط مستقیم رقص دم‌جنبانی نسبت به خط عمودی متناسب است با جهت محل غذا نسبت به خورشید. اما خیر، سایر زنبورها این اطلاعات را از رقص درک نمی‌کنند. بله، صحیح است که سرعت قسمت‌های مختلفی از رقص را می‌توان به عنوان اطلاعاتی درمورد فاصله محل غذا تعبیر کرد. اما هیچ دلیل مناسبی مبنی بر اینکه سایر زنبورها این اطلاعات را درک می‌کنند وجود ندارد. آنها می‌توانند این مسئله را نادیده بگیرند. آنطور که شکاکان می‌گفتند، ادله وان‌فریش ایراد داشت و هنگامی که آزمایشات او را با

---

۱ Wenner Adrian

۲ Gould .L James

«کنترل‌های» مناسب تکرار کردند (یعنی با دقت به روش‌های جایگزینی که بوسیله آن زنبورها می‌توانستند غذا پیدا کنند)، آزمایش‌ها دیگر فرضیه زبان رقص وان‌فریش را اثبات نمی‌کرد.

در اینجا بود که جیم گولد با آزمایشات بسیار هوشمندانه‌اش وارد داستان شد. گولد از یک واقعیت شناخته‌شده قدیمی درمورد زنبورهای عسل استفاده نمود، که احتمالاً شما از فصل قبل آنرا به خاطر دارید. با اینکه زنبورها معمولاً در تاریکی می‌رقصند و از مسیر خط مستقیم در صفحه عمودی به عنوان نشانه رمزی جهت خورشید در صفحه افقی استفاده می‌کنند، اما اگر چراغی داخل کندو روشن کنید، آنها نحوه انجام کار را تغییر داده و به راحتی از روشی که احتمالاً از نیاکانشان به ارث برده‌اند، استفاده خواهند کرد. پس جاذبه را به طور کامل فراموش می‌کنند و از چراغ به عنوان خورشید نمادین استفاده می‌کنند تا به آنها امکان دهد زاویه رقص را مستقیماً تعیین کنند. خوشبختانه، هنگامی که زنبور رقصنده پیروی خود را از جاذبه به چراغ تغییر می‌دهد، هیچ درک اشتباهی رخ نمی‌دهد. سایر زنبورهایی که رقص را «می‌خوانند» به همان شکل تابعیت خود را تغییر می‌دهند تا رقص همچنان همان معنا را داشته باشد: زنبورهای دیگر همچنان در همان جهتی که زنبور رقصنده در نظر داشته است در جستجوی غذا به راه می‌افتند.

اکنون به سراغ شاهکار جیم گولد برویم. او چشم‌های زنبور رقصنده را با لایه‌ای از لاک رنگ مشکی پوشاند، تا قادر به دیدن لامپ نباشد. به این ترتیب فقط براساس قرارداد جاذبه زمین رقص خود را انجام می‌داد. اما سایر زنبورهایی که رقص او را دنبال می‌کردند و چشم‌هایشان بسته نبود، می‌توانستند نور لامپ را ببینند. درک آنها از رقص به صورتی بود که گویی قرارداد جاذبه با قرارداد چراغ به عنوان «خورشید» جایگزین شده است. زنبورهای دنباله‌کننده‌ی زنبور رقصنده زاویه رقص او را نسبت به چراغ اندازه‌گیری می‌کردند، درحالیکه خود زنبور رقصنده آنرا نسبت به جاذبه تنظیم کرده بود. در عمل، گولد زنبور رقصنده را مجبور کرد درمورد جهت محل غذا دروغ بگوید. البته دروغ نه به مفهوم عام آن، بلکه دروغ در جهتی خاص که گولد می‌توانست آنرا به دقت دستکاری کند. او آزمایش را تنها با یک زنبور چشم‌بسته انجام نداد، بلکه از لحاظ آماری تعداد مناسبی انتخاب کرد و زاویه‌های مختلف را امتحان نمود. و این کار نتیجه داد. شک مطرح‌شده درمورد فرضیه زبان رقص اصلی وان‌فریش با موفقیت برطرف شده بود.

هدف من از گفتن این داستان سرگرم کردن شما نبود. می‌خواستم نکته‌ای را درمورد جنبه‌های منفی و مثبت فرضیه طراحی خوب مطرح کنم. هنگامی که برای نخستین بار مقاله‌های شکاکانه ونر و همکارانش را خواندم، آشکارا آنرا تمسخر کردم. با اینکه نهایتاً اشتباه‌بودن نظر ونر ثابت شد، برخورد من مناسب نبود. تمسخر من کاملاً مبتنی بر فرضیه «طراحی خوب» بود. به هر حال، ونر منکر وقوع رقص نبود، یا منکر این نبود که رقص تمام اطلاعاتی را که وان‌فریش درمورد فاصله و جهت محل غذا ادعا کرده بود، در خود داشت. ونر صرفاً منکر این قضیه بود که سایر زنبورها اطلاعات را درک می‌کردند. و هضم این مطلب برای من و بسیاری دیگر از زیست‌شناسان داروینی بیش‌ازحد دشوار بود. رقص بسیار پیچیده بود، بسیار عالی تدوین شده بود و دقیقاً

متناسب با هدفِ آشکارِ اطلاع‌رسانی به سایر زنبورها درمورد فاصله و جهت قرارگیری غذا تنظیم شده بود. این تنظیم دقیق از نظر ما نمی‌توانست به روشی غیر از انتخاب طبیعی انجام شده باشد. تا حدودی ما نیز گرفتار همان دامی شده بودیم که خلقت‌گرایان در هنگام تعمق درمورد شگفتی‌های جهان در آن می‌افتند. رقص صرفاً باید هدف مفیدی را برآورده می‌کرد، و به نظر می‌رسید کاربرد آن کمک به زنبورهای جستجوگر برای پیداکردن غذا باشد. علاوه‌براین، همان جنبه‌های رقص که به شکل دقیق تنظیم شده بودند (نسبت زاویه و سرعت رقص با جهت و فاصله غذا) نیز باید در خدمت کاری مفید بودند. بنابراین، از نقطه‌نظر ما، قطعاً ونر اشتباه کرده بود. حتی اگر به حدی باهوش بودم که آزمایش پوشاندن چشم زنبورهای گولد به ذهنم می‌رسید (که مطمئناً تا آن حد باهوش نبودم)، به قدری درمورد نظرم اطمینان داشتم که زحمت انجام آن آزمایش را به خودم نمی‌دادم.

ولی گولد نه تنها به اندازه کافی باهوش بود که آن آزمایش به ذهنش خطور کند، بلکه زحمت انجام آنرا نیز به خود داد، زیرا فرضیه‌ی طراحی خوب او را اغوا نکرده بود. با اینحال، ما بر روی ریسمان نازکی گام برمی‌داریم، زیرا شک دارم که گولد (همانند وان‌فریش در تحقیق مربوط به رنگ) به اندازه کافی فرضیه‌ی طراحی خوب در ذهن داشته که مطمئن باشد آزمایش استثنایی‌اش شانس خوبی برای موفقیت دارد و ارزش صرف زمان و زحمت را خواهد داشت.

در اینجا می‌خواهم دو واژه فنی را معرفی کنم، «مهندسی معکوس[۱]» و «تابع مطلوبیت[۲]». در این بخش، من تحت‌تأثیر کتاب عالی *دنیل دنت*[۳] یعنی *ایده‌های خطرناک داروین* هستم. مهندسی معکوس تکنیکی برای استدلال است که به این صورت عمل می‌کند. شما یک مهندس هستید که وسیله‌ای را پیدا کرده‌اید که از آن سر درنمی‌آورید. فرض را بر این می‌گذارید که برای هدفی ساخته شده است. آنرا تکه تکه نموده و تجزیه تحلیل می‌کنید تا بفهمید به چه دردی می‌خورد: «اگر می‌خواستم برای انجام فلان کار، ماشینی درست کنم، آیا چیزی مثل این درست می‌کردم؟ یا اینکه آیا این شیء را می‌توان به عنوان ماشینی که برای انجام کار دیگری طراحی شده بهتر توضیح داد؟»

خط‌کش مهندسی، که تا همین اواخر عصای جادویی مهندسان به حساب می‌آمد، در عصر الکترونیک همانند شئی باقیمانده از عصر برنز منسوخ شده است. یک باستان‌شناس در آینده وقتی یک خط‌کش مهندسی پیدا می‌کند و تلاش می‌کند بفهمد به چه درد می‌خورد، ممکن است متوجه شود که برای کشیدن خطوط صاف یا مالیدن کره بر روی نان مناسب است. اما فرض اینکه هر کدام از این دو مورد هدف اصلی آن بوده فرضیه اقتصادی‌بودن را نقض می‌کند. یک خط‌کش ساده یا چاقوی کره به قطعه لغزنده وسط آن احتیاجی ندارد.

---

۱ engineering everser

۲ function utility

۳ Dennett Daniel

علاوه‌براین، اگر فواصل درجات را بررسی کنید، متوجه مقیاس‌های لگاریتمی خواهید شد که دقت آنها بسیار بیشتر از آن است که تصادفی باشند. به ذهن باستان‌شناس خطور می‌کند که در عصر قبل از ماشین‌حساب‌های الکترونیکی، این الگو یک حقه هوشمندانه برای ضرب و تقسیم سریع بوده است. راز خط‌کش مهندسی بوسیله مهندسی معکوس و بکارگیری فرضیه طراحی هوشمندانه و اقتصادی حل می‌شود.

«تابع مطلوبیت» یک واژه فنی در حیطه مهندسی نیست بلکه یک اصطلاح اقتصادی است. معنای آن «چیزی است که به حداکثر رسانده می‌شود». طراحان اقتصادی و مهندسان اجتماعی از این نظر که سعی می‌کنند چیزی را بیشینه‌سازی کنند، بیشتر مانند آرشیتکت‌ها و مهندسان واقعی هستند. فایده‌گرایان[1] (اوتیلیتاریان‌ها) سعی می‌کنند «بالاترین خوشبختی را برای بیشترین تعداد از مردم» به حداکثر برسانند (بگذریم که این عبارت از آنچه هست، هوشمندانه‌تر به نظر می‌رسد). براساس این فلسفه، فایده‌گرایان ممکن است به ثبات بلندمدت اولویت بالاتر یا پایین‌تری بدهند و از خیر خوشبختی کوتاه‌مدت بگذرند. آنها بر سر اینکه «خوشبختی» را براساس ارزش پولی، رضایت شغلی، اقناع فرهنگی یا روابط شخصی بسنجند، با هم اختلاف‌نظر دارند. دیگران معترفند خوشبختی خود را به قیمت کاهش رفاه عمومی به حداکثر می‌رسانند، و ممکن است براساس فلسفه‌ای که معتقد است خوشبختی عمومی تنها زمانی به حداکثر می‌رسد که هر فرد به فکر خوشبختی خود باشد، به خودکامگی خود ببالند. با تماشای رفتار افراد در طول زندگی‌شان، باید قادر باشید تابع مطلوبیت آنها را مهندسی معکوس کنید. اگر رفتار حاکمان یک کشور را مهندسی معکوس کنید، ممکن است به این نتیجه برسید که آنچه آنها به حداکثر می‌رسانند اشتغال و رفاه عمومی است. برای کشوری دیگر، تابع مطلوبیت ممکن است قدرت دائمی رئیس‌جمهور، یا ثروت خانواده حاکم، بزرگی حرم سلطان، ثبات خاورمیانه یا حفظ قیمت نفت باشد. نکته در اینجاست که ممکن است بتوان بیشتر از یک تابع مطلوبیت را تصور نمود. همیشه مشخص نیست افراد، شرکت‌ها، یا حکومت‌ها در تلاش برای به‌حداکثررساندن چه چیزی هستند. اما احتمالاً بتوان فرض را بر این گذاشت که آنها در هر صورت در حال بیشینه‌سازی چیزی هستند. دلیل آن این است که *هوموساپیانس* یک گونه هدف‌گرا است. حتی زمانیکه تابع مطلوبیت مجموع وزنی یا تابع پیچیده دیگری از ورودی‌های فراوان است، این اصل صدق می‌کند.

اجازه دهید به جانداران بازگردیم و سعی کنیم تابع مطلوبیت آنها را استخراج کنیم. ممکن است توابع متعددی وجود داشته باشد، اما مشخص است که همه آنها در نهایت به یک مورد تقلیل پیدا می‌کنند. یک راه مناسب برای تداعی این کار آن است که تصور کنیم موجودات زنده بوسیله یک مهندس آسمانی ساخته شده‌اند، سپس با مهندسی معکوس سعی کنیم از آنچه مهندس مذکور سعی داشته به حداکثر برساند سر دربیاوریم: تابع مطلوبیتِ خداوند چه بوده است؟

---

۱ tilitarianu

یوزپلنگ‌های وحشی تمام نشانه‌هایی که ثابت می‌کند به شیوه‌ای عالی برای هدف خاصی طراحی شده‌اند را دارند، لذا مهندسی معکوس آنها و فهمیدن تابع مطلوبیت آنها ساده است. به نظر می‌رسد برای کشتن غزال‌ها طراحی خوبی دارند. اگر هدف خداوند از طراحی یوزپلنگ‌های وحشی به حداکثررساندن مرگ و میر غزال‌ها بوده باشد، دندانها، پنجه‌ها، چشم‌ها، بینی، عضلات پا، ستون فقرات و مغز یوزپلنگ‌های وحشی دقیقاً همان چیزهایی هستند که باید در طراحی بدن او استفاده می‌شدند. برعکس، اگر غزال را مهندسی معکوس کنیم، به همان میزان دلایلی محکم برای طراحی یک هدف دقیقاً معکوس پیدا می‌کنیم: بقای غزال و گرسنگی یوزپلنگ‌های وحشی. به نظر می‌رسد یوزپلنگ‌های وحشی را یک خالق و غزال‌ها را خالق رقیب او طراحی کرده باشند. از طرف دیگر، اگر ببر و بره، یوز و غزال را خالقی واحد آفریده باشد، چه فکری در سر داشته است؟ آیا سادیسم دارد و از تماشای خونریزی لذت می‌برد؟ آیا سعی داشته از افزایش بیش‌ازحد جمعیت در بین پستانداران آفریقا جلوگیری کند؟ آیا تلاش می‌کرده آمار بینندگان برنامه راز بقای تلویزیون را بالا ببرد؟ تمام موارد فوق همگی توابع مطلوبیت قابل‌درکی هستند که ممکن است صحیح باشند. در حقیقت مطمئناً همه آنها صددرصد اشتباه هستند. در حال حاضر ما تابع مطلوبیت حیات را با جزئیات فراوانش درک می‌کنیم و آن هیچ شباهتی به مواردی که در بالا مطرح شد، ندارد.

فصل اول خواننده کتاب را برای این دیدگاه آماده کرد که تابع مطلوبیت واقعی حیات، که در دنیای طبیعی در حال بیشینه‌شدن است، بقای دی‌ان‌ای می‌باشد. اما دی‌ان‌ای آزادانه حرکت نمی‌کند؛ بلکه در داخل بدن‌های زنده محبوس است و مجبور است از اهرم‌های قدرتی که در اختیار دارد بیشترین بهره را ببرد. توالی‌های دی‌ان‌ای که در بدن‌های یوزپلنگ وحشی هستند، از طریق مجبورکردن بدن آنها به کشتن غزال‌ها بقای خود را به حداکثر می‌رسانند. توالی‌هایی که خود را در بدن غزال می‌یابند، کار مخالف آنرا انجام می‌دهند. اما در هر دو صورت، آنچه در حال بیشینه‌شدن است، بقای دی‌ان‌ای است. در این فصل، قصد دارم مهندسی معکوس را روی تعدادی نمونه عملی پیاده کنم و نشان دهم به محض اینکه فرض کنیم چیزی که بیشینه‌سازی می‌شود، بقای دی‌ان‌ای است، همه چیز معنا پیدا می‌کند.

نسبت جنسیت، نسبت نرها به ماده‌ها، در جمعیت حیوانات وحشی معمولاً ۵۰- ۵۰ است. به نظر می‌رسد این نسبت در گونه‌های فراوانی که در آنها اقلیتی از نرها دارای انحصار ناعادلانه ماده‌ها هستند، یعنی سیستم حرمسرایی، هیچ توجیه اقتصادی نداشته باشد. در جمعیتی از فک‌های فیلی مورد مطالعه، ۴ درصد از نرها ۸۸ درصد از تمام جفت‌گیری‌ها را انجام می‌دهند. ذهن‌تان را درگیر این نکنید که تابع مطلوبیت خداوند در این مورد برای اکثریت نرهای مجرد چقدر ناعادلانه به نظر می‌رسد. بدتر از آن، یک خدای مقتصد و بهره‌ور حتماً متوجه خواهد شد که ۹۶ درصد فک‌های فیلی محروم از شانس جفت‌گیری نیمی از منابع غذایی جمعیت را مصرف می‌کنند (در واقع بیش از نیمی از آن را، زیرا فک‌های فیلی نر بالغ بسیار بزرگتر از ماده‌ها هستند). فک‌های مجرد اضافی هیچ کاری انجام نمی‌دهند غیر از اینکه منتظر فرصتی باشند تا جایگزین یکی از ۴ درصد نر خوش‌شانس حرم شوند. چگونه می‌توان وجود این گله از مجردهای اضافی را توجیه کرد؟ هر تابع مطلوبیت

که تنها اندکی توجه به بهره‌وری اقتصادی جامعه این حیوان داشته باشد، از شر مجردها خلاص خواهد شد. به جای آن، تنها به اندازه‌ای که برای بارورکردن ماده‌ها لازم باشد، نر وجود خواهد داشت. به محض اینکه تابع مطلوبیت داروینی، یعنی به حداکثررساندن بقای دی‌ان‌ای، را درک کنید، این ناهنجاری ظاهری را می‌توان به راحتی توضیح داد.

از آنجاییکه تابع مطلوبیتِ نسبت جنسیت به شکلی ظریف به راهکاری اقتصادی ختم می‌شود، مثال نسبت جنسیت را اندکی مفصل‌تر بررسی خواهیم کرد. چارلز داروین به سردرگمی خود اعتراف نموده است: «پیشتر فکر می‌کردم اگر گرایش به ایجاد دو جنسیت به تعداد برابر برای گونه‌ها منفعتی به همراه داشت، این گرایش نتیجه انتخاب طبیعی می‌بود، اما اکنون فهمیده‌ام این مشکل آنقدر پیچیده است که بهتر است راه‌حل را به آیندگان محول کنیم.» مانند بیشتر موارد، این سر رونالد فیشر بزرگ بود که در آینده موردنظر داروین ظاهر شد. استدلال فیشر به شرح زیر است.

تمام افرادی که به دنیا می‌آیند دقیقاً یک مادر و یک پدر دارند. بنابراین، مجموع موفقیت تولیدمثل برای تمامی نرهای در قید حیات، که برحسب نوادگان دور اندازه‌گیری می‌شود، باید برابر با مجموع موفقیت تولیدمثل تمامی ماده‌های در قید حیات باشد. منظور من هر نر و ماده‌ای نیست، زیرا برخی افراد به وضوح، و به شکل مهمی، دارای موفقیت بیشتری نسبت به سایرین هستند. من درمورد کلیت نرها در مقایسه با کلیت ماده‌ها صحبت می‌کنم. کلیت نسل‌های آینده باید بین نرها و ماده‌های منفرد تقسیم شود - البته نه به صورت مساوی - اما تقسیم باید صورت گیرد. کیک تولیدمثل که باید بین تمام نرها تقسیم شود برابر است با کیکی که باید بین تمام ماده‌ها تقسیم شود. بنابراین اگر فرض کنیم نرهای بیشتری نسبت به ماده‌ها در جمعیت وجود دارد، برش متوسط کیک برای نرها باید کوچکتر از برش متوسط کیک برای ماده‌ها باشد. در نتیجه موفقیت تولیدمثل متوسط (یعنی، تعداد موردانتظار نوادگان) یک نر در مقایسه با موفقیت تولیدمثل متوسط یک ماده منحصراً براساس نسبت نر به ماده تعیین می‌شود. یک عضو متوسط از جنس اقلیت دارای شانس موفقیت تولیدمثل بزرگتری نسبت به یک عضو متوسط از جنسیت اکثریت است. تنها اگر نسبت جنسیت برابر باشد و هیچ اقلیتی وجود نداشته باشد، نر و ماده‌ها از موفقیت تولیدمثل برابر بهره‌مند خواهند شد. این نتیجه‌گیری بسیار ساده نتیجه منطق نظری محض است. به هیچ‌وجه هیچگونه اتکایی بر واقعیت‌های تجربی ندارد، بجز این واقعیت بنیادی که تمامی کودکانی که زاده شده‌اند یک پدر و یک مادر دارند.

جنسیت معمولاً در زمان لقاح تعیین می‌شود، بنابراین می‌توان فرض را بر این گذاشت که یک فرد، نر یا ماده، هیچ قدرتی برای تعیین جنسیت خود ندارد. همراه با فیشر، باید فرض را بر این بگذاریم که یک والد ممکن است قدرت تعیین جنسیت اولاد خود را داشته باشد. البته منظور ما از «قدرت»، قدرتی که به صورت آگاهانه یا عامدانه اعمال می‌شود، نیست. بلکه یک مادر ممکن است دارای استعداد ژنتیکی برای ایجاد یک محیط شیمیایی واژن باشد که اندکی نسبت به اسپرم‌های پسرزا نامناسب و برای اسپرم‌های دخترزا مناسب

است. یا اینکه پدر ممکن است استعداد ژنتیکی برای ایجاد اسپرم‌های دخترزا به جای اسپرم‌های پسرزا داشته باشد. هرچند در عمل این کار ممکن است قابل‌انجام باشد. خود را به عنوان یک پدر یا مادر فرض کنید که سعی می‌کند تصمیم بگیرد پسر داشته باشد یا دختر. همچنین، درمورد تصمیمات آگاهانه حرف نمی‌زنیم، بلکه درمورد انتخاب نسلی از ژن‌ها که روی بدن کار می‌کنند تا بر جنسیت فرزند تأثیر بگذارند، صحبت می‌کنیم.

اگر بخواهید تعداد نوه‌های خود را به حداکثر برسانید، آیا فرزند شما باید پسر باشد یا دختر؟ قبلاً دیدیم که باید اولادتان از جنسیتی باشد که در اقلیت است. به این صورت، فرزند شما می‌تواند انتظار سهم نسبتاً بزرگتری از فعالیت تولیدمثل را داشته باشد و شما هم می‌توانید انتظار داشتن تعداد نسبتاً بیشتری نوه را داشته باشید. اگر هیچیک از دو جنسیت نسبت به دیگری کم‌جمعیت‌تر نباشد، به عبارت دیگر، نسبت از قبل ۵۰-۵۰ باشد، پسر یا دختر داشتن برای شما فرقی ندارد. به عبارتی جنسیت فرزندتان برای شما اهمیتی ندارد. نسبت جنسیت ۵۰-۵۰ را ثبات تکاملی می‌نامند. این واژه را تکامل‌شناس بزرگ بریتانیایی، *جان می‌نارد اسمیت*[1] ابداع نمود. تنها در صورتی که نسبت جنسیت موجود چیزی غیر از ۵۰-۵۰ باشد، گرایش به یک جنسیت خاص در انتخاب شما سود خواهد داشت. پاسخ این پرسش که چرا افراد باید سعی کنند تعداد نوه‌ها و نوادگان خود را به حداکثر برسانند، کاملاً بدیهی است. ژن‌هایی که باعث می‌شوند افراد تعداد نوادگان خود را به حداکثر برسانند، ژن‌هایی هستند که می‌توان انتظار مشاهده آنها را در جهان داشت. حیواناتی که اکنون در جهان هستند، ژن‌های نیاکان موفق را به ارث برده‌اند.

ممکن است وسوسه شده و بر نظریه فیشر که می‌گوید ۵۰-۵۰ نسبت جنسیت «بهینه» است، تأیید کنیم، اما این کاملاً اشتباه است. جنسیت نر برای کودک زمانی بهینه به شمار می‌آید که نرها در اقلیت باشند، و زمانی ماده جنسیت بهینه است که ماده‌ها در اقلیت باشند. اگر هیچکدام از دو جنس در اقلیت نباشند، هیچ حالت بهینه‌ای وجود نخواهد داشت: والدی که خوب طراحی شده است نسبت به اینکه پسر یا دختر به دنیا بیاورد، کاملاً بی‌تفاوت است. پنجاه-پنجاه را نسبت جنسیت ثبات تکاملی می‌خوانند، زیرا انتخاب طبیعی هیچگونه انحراف از آن را نمی‌پسندد، و اگر هرگونه انحرافی وجود داشته باشد، انتخاب طبیعی برای اصلاح مجدد تعادل به نفع یک تمایل عمل می‌کند.

علاوه‌براین، فیشر دریافت که فقط تعداد نرها و ماده‌ها نیست که توسط انتخاب طبیعی به نسبت ۵۰-۵۰ حفظ می‌شود، بلکه چیزی که او «هزینه والدین» برای پسر و دختر می‌نامید نیز به همین صورت است. هزینه والدین به معنای تمام غذاهایی است که با زحمت بدست آمده و به دهان کودک ریخته می‌شود: و تمام زمان و انرژی صرف‌شده برای مراقبت از اوست، که می‌توانست برای کاری دیگر مثلاً مراقبت از کودکی دیگر صرف شود. فرض کنید، به عنوان مثال، والدین یک گونه خاص فُک به طور معمول برای بزرگ‌کردن یک پسر

---

۱ Smith Maynard John

نسبت به یک دختر دو برابر زمان و انرژی صرف می‌کنند. فک‌های فیلی نر در مقایسه با فک‌های فیلی ماده به قدری عظیم‌الجثه هستند که شاید باور صحت فرض بالا چندان دشوار نباشد (البته احتمالاً در حقیقت اینطور نیست). درمورد مفهوم این فرض فکر کنید. انتخاب صحیحی که در برابر والدین قرار دارد این نیست که «آیا باید یک پسر داشته باشم یا یک دختر» بلکه این است که «آیا باید یک پسر داشته باشم یا *دو* دختر؟» دلیل آن این است که با غذا و سایر متاع موردنیاز برای بزرگ‌کردن یک پسر، می‌توانید دو دختر را بزرگ کنید. در آن صورت، نسبت جنسیت ثبات تکاملی، که بر حسب تعداد نفرات محاسبه می‌شود، دو ماده برای هر نر خواهد بود. اما در *صورت محاسبه بر حسب هزینه والدین* (در مقابل تعداد افراد)، نسبت جنسیت ثبات تکاملی باز هم ۵۰-۵۰ است. نظریه فیشر برابر است با برقراری تعادل بین هزینه نر و ماده. در واقع، نهایتاً همان متعادل‌کردن تعداد دو جنس خواهد بود.

حتی در فیل‌های دریایی، همانطور که گفتم، به نظر می‌رسد مقدار هزینه والدین برای پسرها تفاوت محسوسی با هزینه صرف‌شده برای دخترها ندارد. به نظر می‌رسد نابرابری بسیار قابل‌توجه در وزن پس از اتمام هزینه والدین رخ می‌دهد. بنابراین تصمیمی که والدین هنوز با آن مواجه هستند این است «آیا باید یک پسر داشته باشم یا یک دختر؟» با اینکه مجموع هزینه بزرگ‌کردن یک پسر تا سن بلوغ ممکن است بسیار بیشتر از مجموعه هزینه بزرگ‌کردن یک دختر باشد، آنچه در نظریه فیشر اهمیت دارد، این است که تصمیم‌گیرنده (والد) هزینه اضافی را تقبل می‌کند یا خیر.

قانون فیشر درمورد متعادل‌نمودن مخارج حتی در مواردی که نرخ مرگ‌ومیر در یک جنس بالاتر از جنس دیگر است نیز صدق می‌کند. به عنوان مثال فرض کنید، احتمال مرگ بچه‌های نر نسبت به بچه‌های ماده بیشتر است. اگر نسبت جنسیت در هنگام لقاح دقیقاً ۵۰-۵۰ باشد، نرهایی که به سن بلوغ می‌رسند تعداد کمتری از ماده‌ها خواهند داشت. بنابراین، آنها جنس اقلیت هستند، و ما ساده‌لوحانه انتظار داریم انتخاب طبیعی والدینی که به طور خاص پسرزا هستند را مورد لطف قرار دهد. فیشر هم همین انتظار را داشت، البته تا حد دقیقاً مشخصی. او از والدین انتظار نداشت آنقدر پسر اضافی به دنیا بیاورند که مرگ‌ومیر بیشتر نوزادان به طور کامل جبران شود، و به یک برابری در جمعیت زادوولدکننده منجر گردد. خیر، نسبت جنسیت در زمان لقاح باید تا حدی به نر تمایل داشته باشد، اما تنها تا حدی که مجموع هزینه‌های صرف‌شده برای پسران برابر با مجموع هزینه‌های صرف‌شده برای دختران باشد.

باز هم، ساده‌ترین راه برای تصور این نکته این است که خود را جای والد تصمیم‌گیرنده قرار داده و این سوال را از خود بپرسیم: «آیا باید یک دختر داشته باشم، که احتمال زنده ماندنش وجود داشته باشد، یا یک پسر که ممکن است در نوزادی تلف شود؟» اگر تصمیم دارید از طریق پسر نوه‌دار شوید، احتمالاً باید منابع بیشتری را برای داشتن پسران اضافی خرج کنید تا جایگزین آنهایی شوند که در میانه راه از بین خواهند رفت. هر پسری که زنده می‌ماند را می‌توانید حامل ارواح برادران مرده‌اش درنظربگیرید. او آنها را بر گرده خود حمل

می‌کند به این معنا که تصمیم برای داشتن نوه از طریق پسر مقداری هزینه هدررفته اضافی برعهده والدین می‌گذارد - هزینه‌ای که برای نوزادهای نر مرده هدر خواهد رفت. قاعده بنیادین فیشر هنوز هم صدق می‌کند. مجموع مقدار کالا و انرژی سرمایه‌گذاری‌شده برای پسران (از جمله تغذیه نوزادان پسر تا زمان مرگ) با مقدار کل سرمایه صرف‌شده برای دختران برابر خواهد بود.

چه اتفاقی رخ خواهد داد اگر به جای مرگ و میر بالای نوزادان پسر، مرگ و میر پس از اتمام مخارج والدین، بین نرهای بالغ بیشتر باشد؟ در واقع، اغلب همینطور است، زیرا نرهای بالغ غالباً با هم درگیر شده و مصدوم می‌شوند. این وضعیت نیز منجر به افزایش مازاد تعداد ماده‌ها در جمعیت زادوولدکننده خواهد شد. بنابراین، ظاهراً، به سود والدینی است که در پسرآوری تخصص دارند، و بدین ترتیب از کمیاب‌بودن افراد نر در جمعیت زادوولدکننده بهره می‌برند. با اینحال، اگر کمی بیشتر بیاندیشید، متوجه می‌شوید که این استدلال مغلطه‌آمیز است. تصمیمی که یک والد با آن مواجه است به شرح زیر است: «آیا باید پسر داشته باشم، که احتمالاً پس از اینکه او را بزرگ کردم در نزاعی کشته شود. البته درصورت زنده‌ماندن ثمره آن را خواهم دید به خصوص با داشتن نوه‌های بسیار از وی؟ یا اینکه باید دختر داشته باشم، که تقریباً اطمینان دارم تعداد متوسطی نوه به من خواهد داد؟» تعداد نوه‌هایی که می‌توانید از طریق یک پسر انتظار داشته باشید همچنان همان تعداد میانگینی است که می‌توانید از یک دختر انتظار آنرا داشته باشید. و هزینه درست‌کردن یک پسر هنوز همان هزینه تغذیه و محافظت از وی تا لحظه‌ای است که وی لانه را ترک می‌کند. این واقعیت که او احتمالاً در زمان کوتاهی پس از ترک لانه کشته می‌شود، محاسبه را تغییر نمی‌دهد.

در تمام این استدلالات، فیشر فرض را بر این می‌گذاشت که «تصمیم‌گیرنده» والد است. اگر کس دیگری باشد، محاسبه تغییر می‌کند. به عنوان مثال، فرض کنید، که یک فرد می‌توانست بر جنسیت خود تأثیر بگذارد. باز هم منظورم تأثیر بر اساس نیت آگاهانه نیست. فرضاً ژن‌هایی وجود دارند که فرد را بسته به محرک‌های محیطی، در مسیر مذکرشدن یا مؤنث‌شدن قرار می‌دهند. طبق معمول، برای اختصار از اصطلاح انتخاب آگاهانه توسط یک فرد استفاده خواهم کرد، در این مورد انتخاب آگاهانه جنسیت توسط فرد. اگر حیواناتِ حرمسرادار مانند فک‌های فیلی قدرت این انتخاب منعطف را پیدا می‌کردند، نتیجه آن بسیار مهیج می‌بود. در آنصورت، فک‌های فیلی آرزو می‌کردند مرد حرمسرا بودند، اما اگر در تصاحب حرمسرا توفیقی نداشتند، آنگاه ترجیح می‌دادند زن حرمسرا باشند تا مردی عزب. در آن حالت، کفه ترازوی نسبت جنسیت در جمعیت شدیداً به سمت ماده‌ها متمایل می‌شد. متأسفانه، فک آبی نمی‌تواند جنسیت خود را که هنگام لقاح به او داده شده، تغییر دهد، اما برخی ماهی‌ها این امکان را دارند. رَس‌ماهی‌های کله‌آبی نر، بزرگ بوده و رنگ پوستشان روشن است، آنها دارای حرمسرایی از ماده ماهی‌هایی با رنگ کدر هستند. برخی از ماده‌ها بزرگتر از سایرین هستند و برای خود یک سلسله‌مراتب قدرت درست می‌کنند. اگر یک ماهی نر بمیرد، جایگاه او بلافاصله توسط بزرگترین ماهی ماده تصاحب می‌شود. این ماهی در مدت کمی به یک ماهی نر با رنگ روشن تبدیل می‌شود. این ماهی‌ها از دو طرف سود می‌برند. به جای اینکه به عنوان نری عزب عمرشان در انتظار مردن نر

حاکم بر حرمسرا هدر رود، زمان انتظارشان را به عنوان ماده‌ای زایا می‌گذرانند. سیستم نسبت جنسیت رَس‌ماهی کله‌آبی موردی نادر است، که در آن تابع مطلوبیت خداوند با چیزی که یک اقتصاددان اجتماعی ممکن است آنرا دوراندیشی تعبیر کند، همخوانی پیدا می‌کند.

پس ما هم والد و هم خود فرد را به عنوان تصمیم‌گیر درنظر گرفتیم. چه کس دیگری ممکن است تصمیم‌گیر باشد؟ در حشرات اجتماعی، تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری به میزان زیادی بوسیله کارگران عقیم صورت می‌گیرد. کارگرانی که معمولاً خواهران بزرگ‌تر (و نیز در موریانه‌ها، برادران بزرگ‌تر) هستند که برادران و خواهران کوچکتر آنها در حال رشدند. زنبورهای عسل نیز از جمله حشرات اجتماعی شناخته‌تر هستند. زنبوردارانی که در بین خوانندگان این کتاب هستند احتمالاً از قبل می‌دانند که نسبت جنسیت در کندو ظاهراً انتظارات فیشر را برآورده نمی‌کند. اولین نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که کارگران نباید به عنوان زنبور ماده تلقی شوند. آنها از نظر فنی ماده هستند، اما تولیدمثل نمی‌کنند، بنابراین نسبت جنسیت تنظیم‌شده طبق نظریه فیشر عبارتست از نسبت زنبورهای عسل نر به ملکه‌های جدیدی که توسط کندو تولید می‌شوند. در مورد زنبورها و مورچه‌ها، دلایل فنی ویژه‌ای برای نسبت جنسیت ۳ به ۱ به نفع ماده‌ها وجود دارد. از آنجا که در کتاب دیگرم، *ژن خودخواه* به آنها پرداخته‌ام از تکرار آن در اینجا خودداری می‌کنم. برعکس، هر زنبورداری می‌داند که نسبت جنسیت واقعی بسیار به سمت نرها تمایل دارد. یک کندوی در حال رشد ممکن است در یک فصل نیم دوجین ملکه جدید و در عین حال صدها یا حتی هزاران زنبور نر تولید کند.

اینجا چه خبر است؟ مثل اغلب موارد در نظریه تکاملی مدرن، پاسخ را مدیون *دابلیو. دی. همیلتون*[1]، محقق دانشگاه آکسفورد، هستیم. پاسخی که مسئله را روشن کرده و نمونه‌ای بی‌نقص از کل نظریه نسبت‌های جنسیتی الهام‌گرفته از فیشر است. کلید معمای نسبت‌های جنسیتی زنبور عسل در پدیده قابل‌توجه حرکت گروهی نهفته است. یک کندوی عسل، از لحاظ مختلف، مانند یک فرد است. به بلوغ می‌رسد، تولیدمثل می‌کند و نهایتاً می‌میرد. محصول تولید مثل کندو یک دسته زنبور است. در چله تابستان، هنگامی که یک کندو به بهترین حالت رسیده است، یک کلنی یا یک دسته دختر را گسیل می‌کند. تولید و گسیل دسته‌ها از کندو معادل زایش آن است. اگر کندو را یک کارخانه فرض کنیم، گروه‌ها محصول نهایی آن هستند که همراه با خود، ژن‌های باارزش کلنی را حمل می‌کنند. یک دسته از یک ملکه، و چندین هزار کارگر تشکیل شده است. آنها همه با هم کندوی مادر را به صورت یک توده ترک کرده و به صورت یک خوشه متراکم از یک شاخه یا صخره آویزان می‌شوند. این محل استقرار موقت آنها در زمانی خواهد بود که به دنبال یک خانه دائمی و جدید هستند. ظرف چند روز، یک غار یا یک تنه درخت توخالی پیدا می‌کنند (یا اینکه، آنگونه که این روزها معمول است، یک زنبوردار، احتمالاً صاحب کندوی اصلی، آنها را گرفته و در کندوی جدید اسکان می‌دهد).

---

۱ Hamilton .D .W

شغل یک کندوی موفق، بیرون دادن دسته‌های دختر است. اولین گام در انجام این کار درست کردن یک ملکه جدید است. معمولاً حدود نیم دوجین زنبور ملکه ساخته می‌شوند، که تنها یکی از آنها قرار است زنده بماند. اولین ملکه‌ای که موفق به تخم‌گذاری شود با نیش‌زدن بقیه ملکه‌ها را می‌کشد. (به نظر می‌رسد ملکه‌های اضافی تنها محض احتیاط آنجا هستند.) ملکه‌ها از لحاظ ژنتیکی با کارگران قابل‌جایگزینی هستند، اما در سلول‌های مخصوص ملکه که در زیر شانه عسل آویزان است، پرورش داده می‌شوند، و از یک رژیم غذایی غنی مخصوص ملکه تغذیه می‌کنند. این رژیم شامل ژله رویال (عسل غنی) است، ماده‌ای که *دام باربارا کارتلند*[1]، رمان‌نویس انگلیسی، عمر دراز خود و رفتار ملکه‌وار خود را به آن نسبت می‌داد. زنبورهای کارگر در سلول‌های کوچک‌تر پرورش می‌یابند، همان سلول‌هایی که بعداً برای نگهداری عسل استفاده خواهند شد. زنبورهای نر از نظر ژنتیکی متفاوت هستند. آنها حاصل تخم‌های بارورنشده‌اند. جالب اینجاست که این ملکه است که تعیین می‌کند یک تخم به یک زنبور نر تبدیل شود یا زنبوری ماده (ملکه یا کارگر). زنبور ملکه تنها طی یک پرواز، در ابتدای بلوغ خود، جفت‌گیری می‌کند و برای باقی عمرش اسپرم را در بدنش ذخیره می‌کند. هر بار که یک تخم از مجرای تخم عبور می‌کند، ممکن است بسته کوچکی از اسپرم را از محل ذخیره خود آزاد کند تا آنرا بارور کند. بنابراین، ملکه کنترل نسبت جنسیت تخم‌ها را در دست دارد. با اینحال، متعاقباً این زنبورهای کارگر هستند که تمام قدرت را به دست دارند، زیرا تأمین خوراک لارو را کنترل می‌کنند. به عنوان مثال، اگر ملکه (از دید زنبورهای کارگر) بیش‌ازحد تخم نر بگذارد، آنها می‌توانند به لاروهای نر گرسنگی بدهند. در هر صورت، کارگران کنترل تبدیل‌شدن تخم ماده به یک کارگر یا یک ملکه را در اختیار دارند، زیرا این مسئله صرفاً به شرایط رشد لاروها، خصوصاً رژیم غذایی، بستگی دارد.

اکنون اجازه دهید به مشکل نسبت جنسیت بازگردیم، و نگاهی به تصمیمی که زنبورهای کارگر پیش‌رو دارند، بیاندازیم. همانطور که دیدیم، برخلاف ملکه، آنها نه انتخاب پسر یا دختر بودن زنبورهای جدید بلکه تولید برادرها (زنبورهای نر) یا خواهرها (ملکه‌های جوان) را کنترل می‌کنند. و اکنون دوباره به سراغ معمای خود می‌رویم. نسبت جنسیت واقعی ظاهراً به میزان زیادی به سمت نرها متمایل است، که از نقطه‌نظر فیشر به نظر نمی‌رسد معنایی داشته باشد. بیایید نگاهی دقیق‌تر به تصمیمی که زنبورهای کارگر با آن مواجه هستند، بیاندازیم. همانطور که گفتم انتخابی است بین برادر و خواهر. اما صبر کنید. تصمیم برای پرورش یک برادر فی‌الواقع ساده است: کندو را مقید می‌کنید تا غذا و منابعی را که برای بزرگ‌کردن یک زنبور نر لازم است، فراهم کند. اما تصمیم برای پرورش یک ملکه جدید، کندو را به بیش از تأمین منابع موردنیاز برای تغذیه بدن ملکه موظف می‌کند. تصمیم برای پرورش‌دادن یک ملکه جدید برابر است با تعهد برای تشکیل یک دسته زنبور. تنها بخش ناچیزی از هزینه واقعی پرورش یک ملکه جدید، اندکی عسل غنی و سایر غذاهایی است که ملکه مصرف

---

۱ Cartland Barbara Dame

خواهد نمود. بخش عمده آن شامل هزینه تولید هزاران زنبور کارگری است که قرار است هنگامی که دسته کندو را ترک می‌کند، در کندو تلف شوند.

تقریباً به قطع یقین می‌توان گفت دلیل واقعی عدم‌تعادل ظاهراً غیرعادی نسبت جنسیت به نفع نرها، همین موضوع است. آنرا می‌توان به عنوان نمونه‌ای افراطی از آنچه پیشتر درموردش بحث نمودم، برشمرد. طبق قانون فیشر، مقدار هزینه صرف‌شده برای نرها و ماده‌ها باید برابر باشد، نه تعداد افراد نر و ماده. هزینه یک ملکه جدید شامل مخارجی هنگفت برای کارگرانی است که در شرایطی غیر از این حالت، لازم نبود جان خود را برای کندو از دست بدهند. مشابه جمعیت فُکِ فرضی ما، که در آن هزینه بزرگ‌کردن یک جنس دو برابر هزینه لازم برای جنس دیگر است و در نتیجه تعداد افراد آن جنس نصف تعداد افراد جمعیت بزرگتر است. در مورد زنبورها، هزینه یک ملکه صدها یا حتی هزاران بار بیشتر از هزینه یک زنبور نر است، زیرا ملکه هزینه تمام کارگران اضافی که برای دسته موردنیاز است را نیز بر عهده دارد. بنابراین، تعداد ملکه‌ها صدها برابر کمتر از جمعیت زنبورهای نر است. اما این داستان عجیب یک نکته جالب دیگر هم دارد: هنگامی که دسته کندو را ترک می‌کند، به شکل اسرارآمیزی حاوی ملکه *قدیمی* است و نه ملکه جدید. با این وجود شرایط اقتصادی مشابه هستند. تصمیم برای تولید ملکه جدید مستلزم هزینه دسته موردنیاز برای همراهی‌کردن ملکه قدیمی تا منزل جدیدش نیز هست.

برای اینکه بحث نسبت‌های جنسیت را به سرانجام برسانیم، به معمای حرمسرا که در آغاز به آنها اشاره کردیم، بازمی‌گردیم: معمای هزینه بیهوده‌ای که صرف دسته بزرگی از نرهای عزب می‌شود. نرهایی که نیمی (یا حتی بیش از نیمی) از منابع غذایی کل جمعیت را مصرف می‌کنند اما هیچگاه نه تولیدمثل کرده و نه کار مفید دیگری انجام می‌دهند. واضح است که رفاه اقتصادی جمعیت در اینجا حداکثر نمی‌شود. پس مسئله چیست؟ بار دیگر خود را جای یک تصمیم‌گیرنده فرض کنید - به عنوان مثال، یک مادر که در حال تلاش است به منظور بیشینه‌سازی تعداد نوه‌هایش، درمورد پسر داشتن یا دختر داشتن «تصمیم» بگیرد. در نگاه ساده نخست، تصمیم وی نامتعادل است: «آیا بهتر است پسری داشته باشم که احتمالاً مجرد باقی خواهد ماند و اصلاً نوه‌ای برای من نخواهد آورد، یا دختری که احتمالاً سر از حرمسرا درخواهد آورد و برای من تعداد نسبتاً زیادی نوه به دنیا خواهد آورد؟» پاسخ درخور برای این مادرِ آینده این است که «اگر پسری داشته باشی او ممکن است حرمسرایی برای خود داشته باشد، که در آنصورت، آنقدر برایت نوه خواهد آورد که هیچگاه حتی فکر داشتن آن تعداد نوه از طریق یک دختر را هم نمی‌توانی بکنی.» برای سادگی، فرض کنید، تمام ماده‌ها با نرخ متوسط تولیدمثل می‌کنند، و نُه حیوان از هر ده حیوان نر هرگز تولیدمثل نمی‌کنند، درحالیکه یک نر از ده نر انحصار جفت‌گیری با ماده‌ها را در اختیار خود دارد. اگر یک دختر داشته باشید، می‌توانید روی داشتن تعداد متوسطی نوه حساب کنید. اگر یک پسر داشته باشید، ۹۰ درصد احتمال دارد هیچ نوه‌ای نداشته باشید، اما ۱۰ درصد شانس دارید ده برابر حد متوسط نوه داشته باشید. متوسط تعداد نوه‌هایی که می‌توانید از طرف پسر خود انتظار داشته باشید معادل همان تعداد متوسط است که می‌توانید از دختران خود انتظار داشته باشید. انتخاب طبیعی

همچنان نسبت جنسیت ۵۰-۵۰ را می‌پسندد، حتی اگر به دلایل اقتصادی در سطح گونه تقاضای شدیدی برای زیادتر بودن تعداد ماده‌ها وجود داشته باشد. در اینجا قانون فیشر باز هم صدق می‌کند.

تمام این استدلال‌ها را بر حسب «تصمیم» حیوانات مجزا ارائه کردم، اما باید تکرار کنم، این فقط صورت ساده‌شده مسئله است. آنچه که در عمل رخ می‌دهد این است که تعداد ژن‌ها «برای» بیشینه‌سازی نوه‌ها، در خزانه ژنی بسیار زیاد می‌شود. جهان پر از ژن‌هایی می‌شود که با موفقیت در طی نسل‌ها منتقل شده‌اند. یک ژن چگونه می‌تواند در انتقال به نسل‌های بعدی موفق باشد غیر از اینکه با تأثیرگذاری بر تصمیم افراد آنها را متقاعد کند تعداد نوادگان خود را به حداکثر برسانند؟ نظریه نسبت جنسیت فیشر به ما می‌گوید چگونه این بیشینه‌سازی باید انجام شود، و آن با بیشینه‌سازی رفاه اقتصادی گونه یا جمعیت بسیار تفاوت دارد. در اینجا یک تابع مطلوبیت وجود دارد، اما این تابع از تابع مطلوبیتی که به ذهن اقتصادی، انسانی ما خطور می‌کند، بسیار متفاوت است.

اتلاف سرمایه در اقتصاد حرمسرا را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود: نرها، به جای اینکه خود را وقف کار مفید کنند، انرژی و توان‌شان را در تلاش بی‌ثمر برای رقابت با هم هدر می‌دهند. حتی اگر «مفیدبودن» را به شیوه‌ای ظاهراً داروینی در ارتباط با پرورش کودکان تعریف کنیم، باز هم این نکته صحیح است. اگر نرها انرژی‌ای را که در تقابل با یکدیگر هدر می‌دهند، به مسیری سودمند هدایت می‌کردند، گونه در کل، با تلاش و غذای بسیار کمتر، کودکان بیشتری را پرورش می‌داد.

یک متخصص بهره‌وریِ کار احتمالاً با دیدن دنیای فک‌های فیلی دچار بهت خواهد شد. دنیای آنها تقریباً شبیه شرایط فرضی زیر است: یک کارگاه برای راه‌اندازی به بیشتر از ده مرد احتیاج ندارد، زیرا فقط ده دستگاه تراشکاری در آن وجود دارد. اما به جای استخدام فقط ده مرد، مدیریت تصمیم می‌گیرد صد نفر را استخدام کند. هر روز، تمام صد نفر سر کار آمده و حقوق‌شان را می‌گیرند. سپس تمام روز را برای تصاحب ده دستگاه تراش مشغول دعوا کردن با هم می‌شوند. با دستگاه‌های تراش چیزهایی ساخته می‌شود، اما برای ساخت آنها به بیشتر از ده نفر احتیاج نیست، حتی با کمتر از ده نفر هم همان مقدار را می‌توان ساخت، زیرا هر صد نفر مشغول کشمکش هستند و از دستگاه‌های تراش به طور بهینه بهره‌برداری نمی‌شود. متخصص بهره‌وری شکی در این مورد نخواهد داشت. نود درصد از کارگرها اضافه هستند، و این مسئله باید به طور رسمی اعلام شده و نیروی کار تعدیل شود.

اگر «هدردادن» را بار دیگر از نقطه‌نظر اقتصاددان انسانی یا پژوهشگر بهره‌وری کار تعریف کنید، تنها درگیری فیزیکی نیست که در آن حیوانات نر به هدردادن تلاش‌های خود مشغولند. در بسیاری از گونه‌ها، مسابقه زیبایی نیز وجود دارد. در اینجا به یک تابع مطلوبیت دیگر می‌رسیم، که ما انسان‌ها، حتی اگر توجیه اقتصادی مشخصی نداشته باشد، می‌توانیم از آن لذت ببریم: زیبایی هنری. در ظاهر، ممکن است چنین به نظر

برسد که تابع مطلوبیت خداوند برخی اوقات براساس چیزی مانند مسابقه ملکه زیبایی جهان (که خوشبختانه امروزه از مد افتاده است) تدوین شده باشد، ولی به جای زن‌ها، جنس نر بر روی صحنه ظاهر می‌شود. این را می‌توان در محل جفت‌گیری، یا به اصطلاح «جولانگاه» پرندگانی مانند باقرقره و یلوه طوق‌دار به وضوح مشاهده نمود. «جولانگاه» تکه زمینی است که پرندگان نر به صورت سنتی از آن برای خرامیدن در جلوی پرندگان ماده استفاده می‌کنند. پرندگان ماده از جولانگاه دیدن می‌کنند و نمایش همراه با ناز و ادای تعدادی از نرها را نظاره می‌کنند، سپس یکی از آنها را انتخاب و با او جفت‌گیری می‌کنند. نرهایی که به خودنمایی مشغولند، اغلب تزیینات عجیب و غریبی دارند، که آنها را معمولاً همراه با حرکاتی به همان میزان جالب‌توجه، با خم‌شدن یا جنباندن و تولید صداهای عجیب، به نمایش می‌گذارند. البته، عبارت «عجیب و غریب»، قضاوتی ذهنی است؛ احتمالاً، سیاه‌خروس برنجاسپ نر که با پرهای پف‌کرده خود همراه با صداهایی که شبیه به بازشدن چوب‌پنبه درب نوشابه است، رقص خواستگاری را برگزار می‌کند، از دید پرنده ماده گونه‌ی خود چندان عجیب و غریب به نظر نمی‌رسد، و نکته مهم همین است. در برخی موارد، به نظر می‌رسد برداشت پرندگان ماده از زیبایی با ذهنیت ما همخوانی دارد، و نتیجه اینکه ما هم طاووس یا مرغ بهشتی را زیبا می‌دانیم.

آواز بلبل، دم قرقاول، نور کرم شب‌تاب و فلس‌های رنگین‌کمانی ماهی مرجانی استوایی همه و همه زیبایی هنری را به حداکثر می‌رسانند، اما این زیبایی برای لذت انسان نیست، مگر بر حسب اتفاق. اگر ما از این نمایش باشکوه لذت می‌بریم، یک مزیت و محصول جانبی است. ژن‌هایی که نرها را در نظر ماده‌ها جذاب می‌کنند به طور خودکار در رود دیجیتال به نسل آینده منتقل می‌شوند. تنها یک تابع مطلوبیت وجود دارد که به این زیبایی‌ها معنا می‌بخشد؛ همان تابعی که نسبت‌های جنسیت فک فیلی، تعقیب و گریز ظاهراً بی‌حاصل یوزپلنگ و غزال، فاخته و شپش، چشم ، گوش و نای، مورچه‌های کارگر عقیم و ملکه‌های بسیار بارور را توضیح می‌دهد. تابع بزرگ مطلوبیت جهانی، کمیتی که در هر گوشه از جهان موجودات زنده به طور مستمر در حال بیشینه‌شدن است، در تمام موارد، چیزی نیست جز بقای دی‌ان‌ای. یعنی همان چیزی که مسئول ایجاد ویژگی‌هایی است که شما در تلاش برای توضیح آنها هستید.

دم رنگارنگ طاووس به قدری سنگین و دست‌وپاگیر است که به شدت مانع هرگونه تلاش این پرنده برای انجام کار مفید می‌شود، البته اگر تمایلی برای انجام کار مفید داشته باشد، که معمولاً هم در کل رغبتی برای آن ندارد. پرندگان آوازه‌خوان مقدار متنابهی از وقت و انرژی خود را صرف خواندن می‌کنند. این کار مطمئناً خطرناک است و آنها را در معرض خطر قرار می‌دهد زیرا نه تنها شکارچیان را به خود جلب می‌کند بلکه انرژی آنها را نیز تخلیه کرده و وقتی را که می‌توانند برای تجدید انرژی استفاده کنند، هدر می‌دهد. یک دانشجوی زیست‌شناسی که روی نوعی چکاوک مطالعه می‌کند، می‌گوید یکی از نرهای وحشی او تا سر حد مرگ آواز می‌خواند. هر تابع مطلوبیتی که رفاه بلندمدت گونه این جاندار، حتی بقای بلندمدت این پرنده نر خاص را در خود داشته باشد، میزان آوازخواندن، میزان نمایش، و میزان نزاع بین نرها را کاهش خواهد داد. با این وجود، از آنجا که در واقع بقای دی‌ان‌ای در حال بیشینه‌شدن است، هیچ چیزی نمی‌تواند گسترش آن نوع از دی‌ان‌ای را

که دارای هیچ اثر مفیدی غیر از زیباسازی نرها برای ماده‌ها نیست، متوقف کند. زیبایی ذاتاً یک فضیلت مطلق نیست. اما ناچاراً اگر برخی ژن‌ها به جنس نر خصایصی را ببخشند که بر حسب اتفاق موردپسند جنس ماده آن گونه است، بقای این ژن‌ها، خواه و ناخواه، ادامه خواهد یافت.

چرا درختان جنگل اینقدر بلند هستند؟ صرفاً به خاطر بلندتربودن از درختان رقیب. یک تابع مطلوبیت «معقول» بهتر می‌دید همه درختان کوتاه باشند. آنها با هزینه بسیار کمتر برای تنه‌های قطور و ریشه‌های نگهدارنده حجیم، می‌توانند دقیقاً همان مقدار آفتاب را دریافت کنند. اما اگر همه آنها کوتاه بودند، انتخاب طبیعی نمی‌توانست از حمایت یک تک گونه که اندکی بلندتر رشد کرده بود، خودداری کند. از آنجایی که سطح انتظارات بالاتر می‌رود، بقیه نیز مجبور به پیروی می‌شوند. تا زمانیکه کل درختان به شکلی مضحک و بی‌فایده بلند نشوند، هیچ چیز قادر نیست از بالاگرفتن کل بازی جلوگیری کند. این موضوع تنها از دید یک برنامه‌ریز اقتصادی منطقی که از منظر بیشینه‌سازی به قضیه نگاه می‌کند، مضحک و بی‌فایده است. اما کل این مسئله زمانی معنا پیدا می‌کند که تابع مطلوبیت واقعی را درک کنید: ژن‌ها در تلاش هستند بقای خود را به حداکثر برسانند. موارد مشابه معمولی فراوانند. در یک مهمانی شلوغ شبانه، به قدری فریاد می‌زنید که صدایتان می‌گیرد. دلیلش این است که همه با صدای بلند در حال دادزدن هستند. اگر تمام میهمانان با هم توافق می‌کردند آرام صحبت کنند، هم صدای یکدیگر را بهتر می‌شنیدند و هم صدای‌شان کمتر می‌گرفت و انرژی کمتری هم صرف می‌کردند. اما توافق‌هایی از این دست تا زمانی که کسی آنرا اعمال و نظارت نکند، موفق نخواهند بود. همیشه کسی هست که از روی خودخواهی با اندکی بلندتر صحبت کردن آنرا نقض کند، و کم کم بقیه نیز به تبع وی صدای‌شان را بلندتر می‌کنند. تعادل پایدار تنها زمانی حاصل می‌شود که هر کسی با نهایت قدرت فیزیکی خود فریاد بزند، و این مقدار بسیار بلندتر از میزانی است که از نظر «منطقی» لزوم آن وجود داشته باشد. خویشتنداری جمعی به دفعات مکرر بخاطر ناپایداری داخلی بی‌نتیجه می‌ماند. تابع مطلوبیت خداوند به ندرت بیشترین خیر را برای بیشترین تعداد به دنبال دارد. تابع مطلوبیت خداوند در یک درهم‌ریختگی ناهماهنگ برای تحصیل منفعت خودخواهانه، به اصل خود خیانت می‌کند.

انسان‌ها تمایل دارند فرض را بر این بگذارند که رفاه یعنی رفاه جمعی، و «خیر» یعنی خیر جامعه، رفاه آتی گونه‌ها یا حتی اکوسیستم. به نظر می‌رسد تابع مطلوبیت خداوند، که از تعمق در باب اصول بنیادی انتخاب طبیعی ناشی می‌شود، به شکل تأسف‌باری با این چشم‌اندازهای آرمان‌گرایانه ناهمخوانی دارد. به طور قطع، مواقعی وجود دارد که ژن‌ها ممکن است بوسیله برنامه‌ریزی یک همکاری متواضعانه، یا حتی با از خودگذشتگی، رفاه خودخواهانه خود را در سطح خود بوسیله ارگانیسم در سطح آن، به حداکثر برسانند. اما رفاه گروهی همواره یک پیامد اتفاقی است و نه یک محرک اولیه. این همان معنی «ژن خودخواه» است.

بیایید نگاهی بیاندازیم به یک جنبه دیگر از تابع مطلوبیت خداوند. با یک تشبیه شروع می‌کنیم. روان‌شناس داروینی، *نیکولاس هامفری*[1]، حقیقتی روشنگرانه را به صورت داستانی ساختگی درمورد هنری فورد بیان می‌دارد. «می‌گویند» فورد، قدیس حامی بهره‌وری خط تولید، یکبار دستور داد تا گاراژهای قطعات اسقاطی اتوموبیل در سرتاسر آمریکا بررسی شوند تا مشخص شود آیا قطعه‌ای از مدل T فورد وجود دارد که هیچگاه خراب نشده باشد؟ مسئولان این تحقیق گزارشات خود را به فورد تحویل دادند: تقریباً تمام قطعات این خودرو دچار نقص شده بودند: محورها، ترمزها، پیستون‌ها، همگی مستعد خراب‌شدن بودند. اما متوجه یک استثناء جالب شدند، میل سگدست تمام خودروهای اسقاطی هنوز برای سالیان سال قابل‌استفاده بودند. فورد با منطقی بی‌رحمانه به این نتیجه رسید که میل سگدست مدل T بیش‌ازحد خوب است و دستور داد در آینده آنها را با کیفیت پایین‌تری بسازند.

شما هم ممکن است مثل من با میل سگدست آشنا نباشید، اما مهم نیست. میل سگدست قطعه‌ای ضروری از خودرو است، و صدالبته بی‌رحمی نسبت‌داده‌شده به فورد کاملاً منطقی بود. تصمیم دیگری که فورد می‌توانست بگیرد این بود که کیفیت تمام قطعات ریز و درشت دیگر خودروی تولیدی شرکتش را به حد کیفیت میل سگدست افزایش دهد. اما در آنصورت آن خودرو دیگر مدل T نبود بلکه رولزرویس بود، که در دستور کار نبود. هم رولزرویس و هم مدل T هر دو خودروهای آبرومندی هستند اما در ازای قیمت‌هایی متفاوتی. ترفند کار این است که مطمئن شوند یا خودرو کلاً با ویژگی‌های رولزرویس ساخته می‌شود یا اینکه کل آن با ویژگی‌های مدل T تولید می‌گردد. اگر اتوموبیلی بسازید که ترکیبی از قطعاتی با کیفیت مدل T و قطعاتی با کیفیت رولزرویس باشد، آنچه خواهید داشت بدترین کیفیت این دو مدل است، زیرا هنگامی که ضعیف‌ترین قطعه خودرو دچار استهلاک می‌شود، باید آن را دور انداخت، و پول هزینه‌شده بابت قطعات باکیفیت که هیچگاه فرصت استهلاک پیدا نکرده‌اند، به راحتی هدر می‌رود.

درسی که فورد به ما می‌دهد درمورد بدن موجودات زنده بیشتر صدق می‌کند تا اتوموبیل، زیرا قطعات یک خودرو را می‌توان تا حدی با قطعات یدکی تعویض نمود. میمون‌ها و گیبون‌ها زندگی خود را بالای درختان می‌گذرانند و همواره در معرض خطر سقوط و شکستن استخوان هستند. فرض کنید می‌خواهیم یک بررسی روی اجساد میمون‌ها انجام دهیم تا آمار وقوع شکستگی در استخوان‌های اصلی بدن آنها را بدست آوریم. فرض کنید مشخص شد تمام استخوان‌ها زمانی دچار شکستگی شده‌اند به جز نازک‌نی یا فیبولا[2] (استخوانی که موازی استخوان درشت نی یا قلم پاست) که هیچگاه در هیچ میمونی شکستگی آن مشاهده نشده است. توصیه بی‌درنگ هنری فورد بازسازی فیبولا با کیفیتی پایین‌تر است و این دقیقاً همان چیزی است که انتخاب طبیعی انجام خواهد داد. افراد جهش‌یافته با فیبولای ضعیف‌تر، یعنی افرادی که قواعد رشد آنها ایجاب می‌کند کلسیم

---

۱ Humphrey Nicholas

۲ fibula

باارزش به فیبولا داده نشود، می‌توانند از ماده ذخیره‌شده برای ضخیم‌ترکردن استخوان‌های دیگر بدن استفاده کرده و به حالت ایده‌آلی برسند که در آن احتمال شکستن تمام استخوان‌ها برابر است. یا اینکه افراد جهش‌یافته می‌توانند از کلسیم ذخیره‌شده برای تولید شیر بیشتر و در نتیجه پرورش فرزندان بیشتر استفاده کنند. می‌توان استخوان فیبولا را نازک‌تر کرد، حداقل تا نقطه‌ای که احتمال شکستن آن با احتمال شکستن دیگر بادوام‌ترین استخوان دیگر برابر شود. انجام گزینه دوم، یعنی «رولزرویسی‌کردن» و افزایش کیفیت سایر استخوان‌ها تا حد کیفیت فیبولا، دشوارتر است.

محاسبه به این سادگی نیست، زیرا برخی استخوان‌ها از سایر استخوان‌ها اهمیت بالاتری دارند. حدس می‌زنم، برای یک میمون درازدست زنده ماندن با یک استخوان ترک‌خورده پاشنه پا راحت‌تر باشد تا با یک استخوان ترک‌خورده بازو، بنابراین تقریباً انتظار نداریم انتخاب طبیعی تمام استخوان‌ها را با احتمال شکستگی یکسان درست کند. اما درس اصلی که در اینجا از افسانه هنری فورد فرامی‌گیریم بی‌شک صحیح است. ممکن است یکی از اجزای بدن یک جاندار کیفیت بیش از اندازه خوبی داشته باشد، در اینصورت باید انتظار داشت که انتخاب طبیعی کیفیت آنرا تا حد کیفیت سایر اجزای بدن پایین بیاورد. به بیان دقیق‌تر، انتخاب طبیعی کیفیت را هم در جهت پایین و هم در جهت بالا تراز می‌کند تا زمانیکه یک تعادل مناسب در سرتاسر اجزای بدن بدست آید.

درک این تعادل به ویژه زمانی ساده است که بین دو جنبه نسبتاً مجزا از زندگی ایجاد شود: به عنوان مثال، بقای طاووس نر در برابر زیبایی آن به چشم طاووس ماده. نظریه داروینی به ما می‌گوید بقا کلاً وسیله‌ای است در خدمت تکثیر ژن‌ها، اما این واقعیت مانع نمی‌شود ما بدن را به اجزای آن، مانند پاها، که در وهله نخست به بقای فرد مربوط هستند و آلت تناسلی مردانه، که با تولیدنسل مرتبط است، تقسیم نکنیم. یا اعضایی مانند شاخ‌ها که به رقابت با حریفان اختصاص دارند، در مقابل اعضایی مانند پاها و آلت تناسلی مردانه که اهمیت‌شان به وجود حریفان بستگی ندارد. بسیاری از حشرات تغییرات بسیار مشخصی را بین مراحل کاملاً متفاوت حیات‌شان تجربه می‌کنند. کرم‌های ابریشم خود را وقف جمع‌آوری غذا و رشد می‌کنند. پروانه‌ها مانند گل‌هایی که به سراغشان می‌روند به تولیدمثل مشغولند. آنها رشد نمی‌کنند، و شهد را تنها به این خاطر مک می‌زنند که آنرا بلافاصله به عنوان سوخت پرواز بسوزانند. هنگامی که یک پروانه با موفقیت تولیدمثل می‌کند، نه تنها ژن‌های لازم برای پرواز و جفت‌گیری کارآمد یک پروانه بلکه ژن‌های لازم برای تغذیه کارآمد یک کرم ابریشم را نیز منتقل می‌کند. حشره‌های یک‌روزه به صورت شفیره تا سه سال زیر آب تغذیه و رشد می‌کنند. سپس به عنوان حشرات بالغ از آب بیرون آمده و پرواز می‌کنند اما تنها چند ساعت زنده می‌مانند. بسیاری از آنها توسط ماهی‌ها خورده می‌شوند، اما حتی اگر خورده نشوند، از آنجاییکه نمی‌توانند غذا بخورند و حتی فاقد شکم هستند، به سرعت می‌میرند (هنری فورد احتمالاً از این نوع حشره خیلی خوشش می‌آمد). وظیفه آنها تنها پروازکردن تا زمانی است که بتوانند یک جفت پیدا کنند. سپس، بعد از انتقال ژن‌های‌شان، از جمله ژن‌های لازم برای اینکه یک شفیره بتواند سه سال زیر آب تغذیه کند، می‌میرند. یک حشره یک‌روزه مانند درختی است که

سال‌ها طول کشیده تا رشد کند، سپس در یک روز باشکوه شکوفه می‌دهد و می‌میرد. حشره یک‌روزه بالغ مانند یک گل است که مدت کوتاهی در انتهای عمرش و شروع زندگی جدید گل می‌دهد.

یک ماهی سالمون جوان پس از تولد به سمت پایین رودخانه مهاجرت می‌کند و عمده زندگی‌اش در دریا در حال تغذیه و رشد می‌گذرد. هنگامی که به سن بلوغ رسید، دوباره، احتمالاً با کمک بو، دهانه رودی را که در آن به دنیا آمده است، جستجو می‌کند. در یک سفر حماسی و تحسین‌برانگیز، ماهی سالمون به سمت بالای رودخانه شنا می‌کند، به بالای آبشارها و جریان‌های تند می‌پرد و به سرچشمه‌ای که در آنجا به دنیا آمده، می‌رسد. در آنجا تخم‌ریزی می‌کند و چرخه تکرار می‌شود. در این مقطع، معمولاً بین ماهی سالمون اقیانوس اطلس و آرام تفاوتی وجود دارد. ماهی سالمون اقیانوس اطلس، پس از تخم‌ریزی ممکن است به دریا بازگردد و قدری شانس دارد که این چرخه را برای بار دوم تکرار کند. سالمون اقیانوس آرام اما خسته و بی‌رمق ظرف چند روز پس از تخم‌ریزی می‌میرد.

یک سالمون اقیانوس آرام معمولی مانند یک حشره یک‌روزه است با این تفاوت که تمایز واضحی که از نظر آناتومی بین شفیره و حشره بالغ وجود دارد، در مراحل مختلف زندگی ماهی سالمون دیده نمی‌شود. زحمت شناکردن به سمت بالای رودخانه به حدی زیاد است که توان انجام دوباره آنرا ندارد. بنابراین، انتخاب طبیعی افرادی را می‌پسندد که تمام منابع خود را در یک تلاش تولیدمثلی «انفجاری» به یکباره صرف کنند. هر منبعی که پس از تولیدمثل باقی مانده باشد هدر خواهد رفت، همانند میل سگدست خودروی فورد که دوام آن از بقیه قطعات خودرو بیشتر بود. ماهی سالمون اقیانوس آرام به صورتی تکامل پیدا کرده است که پس از تولیدمثل بقایش به تدریج تحلیل برود تا به صفر برسد، و منابعی که ذخیره شده‌اند به سمت تولید تخم یا سپرز (تخم ماهی نر) هدایت شوند. ماهی سالمون اقیانوس اطلس به مسیر دیگری کشیده شده است. احتمالاً شاید به این خاطر که رودخانه‌هایی که آنها باید در آن به سمت مخالف شنا کنند، کوتاه‌تر است و از تپه‌هایی با شیب کمتر سرچشمه می‌گیرد، ماهی‌هایی که منابع خود را برای چرخه تولیدمثل دوم نگه می‌دارند، برخی اوقات می‌توانند در انجام آن موفق باشند. بهایی که سالمون‌های اقیانوس اطلس می‌پردازند این است که نمی‌توانند تخم‌ریزی زیادی انجام دهند. بین طول‌عمر و تولیدمثل یک توازن وجود دارد و انواع مختلف سالمون توازن‌های مختلفی را انتخاب کرده‌اند. ویژگی خاص چرخه عمر سالمون این است که پرحادثه بودن و طاقت‌فرسایی مهاجرت آنها عدم پیوستگی را تحمیل می‌کند. هیچگونه توالی ساده‌ای بین یک فصل تولیدمثل و فصل دوم وجود ندارد. تعهد به انجام تولیدمثل برای بار دوم به شدت کارایی تولیدمثل اول را کاهش می‌دهد. ماهی سالمونِ اقیانوس آرام به شکلی تکامل یافته است که تعهدی کاملاً مشخص به فصل تولیدمثل اول داشته باشد، و نتیجه آنکه یک ماهی معمولی بی‌تردید پس از تلاش برای یک تخم‌ریزی عظیم بلافاصله می‌میرد.

این سبک داد و ستد مشخصه تمام انواع حیات است، اما معمولاً شدت آن کمتر است. مرگ خود ما نیز احتمالاً به شکلی شبیه ماهی سالمون برنامه‌ریزی شده است اما بصورتی که قاطعیت و ناگهانی بودن آن

کمتر است. بی‌شک یک متخصص اصلاح نژاد می‌تواند نژادی از انسان را با طول عمر بسیار بالا پرورش دهد. می‌توانید افرادی را پرورش دهید که قسمت اعظم منابع‌شان را به جای اینکه به فرزندان‌شان بدهند، در داخل بدن خود نگه می‌دارند: افرادی که به عنوان مثال، استخوان‌هایی بسیار محکم وغیرقابل‌شکستن دارند اما کلسیم اندکی برای شیردهی باقی می‌گذارند. اگر در ناز و نعمت بزرگ شوید، به راحتی می‌توانید اندکی بیشتر عمر کنید، ولی به قیمت ضعیف‌شدن نسل بعدی تمام خواهد شد. متخصص اصلاح نژاد قادر است این «نازپروردگی» را انجام داده و از داد و ستدهای موجود در جهت دلخواه افزایش طول عمر استفاده کند. طبیعت به این شکل کسی را در ناز و نعمت بزرگ نمی‌کند، زیرا ژن‌هایی که از نسل بعدی مضایقه شوند به آینده راه نخواهند برد.

تابع مطلوبیت طبیعت هرگز ارزشی برای طول عمر، صرفاً به خاطر خود طول عمر، قائل نیست بلکه آنرا تنها برای تولیدمثل بیشتر در آینده می‌پسندد. هر حیوان شبیه ما که برخلاف ماهی سالمون اقیانوس آرام، بیشتر از یک بار تولیدمثل می‌کند با داد و ستدی بین فرزند (یا زایمان) فعلی و فرزندان آینده مواجه است. خرگوشی که تمام انرژی و منابع خود را به اولین زایمان خود اختصاص داده است احتمالاً بچه‌های زایمان اولش بسیار عالی خواهند بود. اما منابعی برای زایمان دوم باقی نخواهد ماند. ژن‌هایی که کاربرد آنها ذخیره‌کردن چیزی است، اغلب از طریق جمعیت خرگوش‌ها به بدن بچه‌های زایمان دوم و سوم منتقل می‌شوند. ژن‌هایی از این نوع هستند که به وضوح از طریق جمعیت ماهی سالمون اقیانوس آرام منتقل نمی‌شوند، زیرا عدم‌پیوستگی عملی بین یک فصل تولیدمثل و فصل دوم بسیار قابل‌توجه است.

با بالا رفتن سن، احتمال مرگ ما در هر سال متوالی، پس از یک کاهش اولیه و سپس مدتی بی‌تغییری به صورتی آرام و ممتد شروع به افزایش می‌کند. چه اتفاقی در این دوره طولانی افزایش احتمال مرگ در حال رخ‌دادن است؟ اساساً همان اصل حاکم بر سالمون اقیانوس آرام در اینجا نیز صدق می‌کند، اما به جای اینکه بر مرگی سریع و پرشتاب پس از عیاشی تخم‌ریزی تمرکز کند در طول یک دوره بلند گسترده شده است. قواعد کلی فرآیند پیری در اصل بوسیله برنده جایزه نوبل و دانشمند علوم پزشکی، *سر پیتر مداوار*[1] در اوایل دهه ۱۹۵۰ تدوین گردید و سپس تغییرات متعددی در ایده اولیه از سوی داروین‌گرای برجسته، *جی. جی. ویلیامز*[2] و *دابلیو.دی. همیلتون* افزوده شده بود، اعمال گردید.

بحث اصلی به شرح زیر است: نخست اینکه، همانطور که در فصل اول دیدیم، هر اثر ژنتیکی به طور معمول در زمانی مشخص در طول عمر یک موجود زنده فعال می‌شود. بسیاری از ژن‌ها در رویان یا جنین اولیه فعال می‌شوند، البته ژن‌های دیگر به این صورت نیستند، مانند ژن بیماری داءالرقص هانتینگتون[3]، بیماریی‌ای که

---

۱ Medawar Peter Sir

۲ Williams. G .G

۳ chorea Huntington's

به شکلی غم‌انگیز جان شاعر و خواننده مردمی، *وودی گوثری*[1]، را گرفت. ژن‌هایی از این دست تا زمان رسیدن به میانسالی فعال نمی‌شوند. دوم اینکه، جزئیات یک تأثیر ژنتیکی، ازجمله زمانی که ژن فعال می‌شود، ممکن است بوسیله سایر ژن‌ها تغییر کند. مردی که دارای ژن بیماری هانتینگتون است، می‌تواند منتظر مرگ بر اثر این بیماری باشد، اما اینکه مرگ در سن چهل سالگی به سراغ او بیاید یا چهل و پنج سالگی (همانند *وودی گوثری*) توسط سایر ژن‌ها تعیین می‌شود. این بدان معناست که به انتخاب ژن‌های «تغییردهنده»، زمان عملکرد یک ژن خاص در طی دوره تکامل می‌تواند به تعویق انداخته شود یا تسریع گردد.

ژنی مانند ژن بیماری هانتینگتون، که بین سنین سی و پنج تا چهل و پنج سالگی فعال می‌شود، قبل از اینکه میزبان خود را بکشد، فرصت زیادی برای انتقال به نسل بعد دارد. حال اگر در سن بیست سالگی فعال می‌شد، تنها توسط کسانی که در سنین پایین تولیدمثل می‌کردند، قابل‌انتقال بود، و بنابراین شانس بقا نداشت. اگر در سن ده سالگی فعال می‌شد، اساساً هیچگاه منتقل نمی‌شد. انتخاب طبیعی طرفدار ژن‌های تغییردهنده‌ای است که سن فعال‌کردن ژن بیماری هانتینگتون را به تعویق می‌اندازند. طبق نظریه مداوار/ویلیامز، دقیقاً به همین خاطر است که این ژن معمولاً تا میانسالگی فعال نمی‌شود. زمانی احتمالاً ژنی فعال‌شونده در سنین اولیه بلوغ بوده است، اما انتخاب طبیعی ترجیح داده است اثرات کشنده آنرا تا میان‌سالگی به عقب بیاندازد. بی‌شک همچنان اندکی فشارِ انتخاب طبیعی وجود دارد که سعی می‌کند زمان فعال شدن ژن را به سنین بالاتر جابجا کند، اما این فشار توان چندانی ندارد زیرا قربانیان اندکی هستند که نتوانسته‌اند قبل از مرگ، تولیدمثل کرده و ژن را به نسل بعد منتقل کنند.

ژن بیماری هانتینگتون یک نمونه آشکار از یک ژن کشنده است. ژن‌های فراوانی هستند که به خودی خود کشنده نیستند اما در عین حال اثراتی دارند که احتمال مرگ بر اثر علل دیگر را افزایش می‌دهند؛ این ژنها غیرمهلک نام دارند. در این مورد نیز زمان فعال‌شدن ژن ممکن است تحت‌تأثیر ژن‌های تغییردهنده باشد و بنابراین بوسیله انتخاب طبیعی به تأخیر بیافتد یا تسریع شود. مداوار دریافت که ضعف‌های دوران پیری ممکن است نشان‌دهنده تجمیع اثرات ژنتیکی مهلک یا غیرمهلکی باشد که در چرخه حیات به تدریج به سنین بالاتر و بالاتر منتقل شده‌اند و صرفاً به این خاطر که عملکرد آنها تأخیری است، به آنها اجازه داده شده است از خلال فیلتر تولیدمثل رد شده و به نسل‌های آینده منتقل شوند.

پیچشی که جی. سی. ویلیامز، پیش‌کسوت داروینیسم مدرن آمریکایی، در سال ۱۹۵۷ به این داستان داد، تغییر مهمی بود. این موضوع به نکته‌ای که درمورد داد و ستد اقتصادی مطرح کردیم، بازمی‌گردد. برای درک آن، باید قدری بیشتر اطلاعات پیش‌زمینه‌ای را در پرانتز بیان کنیم. یک ژن غالباً روی اعضایی از بدن که

---

۱ Guthrie Woody

از هم مجزا هستند، دارای بیش از یک اثر می‌باشد. این «چندواری[1]» (پلیوتروفی) نه تنها واقعی است، بلکه با توجه به اینکه ژن‌ها اثر خود را روی رشد جنینی اعمال می‌کنند و رشد جنینی فرآیندی پیچیده است، کاملاً انتظار آن را می‌توان داشت. بنابراین، هر گونه جهش جدید احتمالاً دارای بیش از یک تأثیر است. با اینکه یکی از این تأثیرات ممکن است سودمند باشد، احتمال اینکه تأثیرات مفید بیش از یک مورد باشد غیرمحتمل است. دلیلش این است که اکثر اثراتِ جهشی نامطلوب هستند. علاوه بر واقعیت این مسئله، اساساً راه‌های خراب کردن یک مکانیزم پیچیده سالم مانند یک رادیو، بسیار بیشتر از راه‌های درست‌کردن آن است.

هرگاه انتخاب طبیعی یک ژن را به خاطر اثرات مفید آن در جوانی می‌پذیرد، به عنوان مثال به خاطر اینکه جذابیت جنسی را در حیوان مذکر جوان افزایش می‌دهد، جنبه منفی آن هم احتمالاً وجود دارد: به عنوان مثال یک بیماری خاص در میانسالی یا پیری ممکن است حاصل وجود آن ژن باشد. از لحاظ نظری، تأثیرات سن می‌تواند برعکس هم باشد، اما، بر اساس منطق مداوار، انتخاب طبیعی به ندرت یک بیماری را به این دلیل که همان ژن در سنین پیری اثر مفیدتری دارد، در جوانی می‌پذیرد. علاوه‌براین، می‌توانیم مجدداً درمورد ژن‌های تغییردهنده نیز به این نکته استناد کنیم. هر یک از اثرات متعدد یک ژن، چه خوب چه بد، ممکن است در فرآیند تکامل با تغییر در زمان‌های فعال‌شدن خود مواجه شود. طبق اصل مداوار، اثرات خوب اغلب به سنین پایین‌تر منتقل شده و اثرات بد غالباً به سنین بالاتر به تأخیر می‌افتند. علاوه‌براین، در برخی موارد یک توازن مستقیم بین اثرات زودهنگام و دیرهنگام وجود خواهد داشت. این توازن در بحث‌مان درمورد ماهی سالمون به طور تلویحی مطرح شد. اگر مقدار منابع در اختیار یک حیوان، به عنوان مثال برای اینکه بتواند از نظر فیزیکی قوی شود یا بتواند خود را با پرش بلند از خطر نجات دهد، محدود باشد، هر گونه تمایل ذاتی برای مصرف زودهنگام آن منابع نسبت به ترجیح برای به‌تأخیرانداختن مصرف آنها اولویت خواهد داشت. حیواناتی که مصرف منابع خود را به سنین بالاتر موکول می‌کنند، قبل از اینکه شانس مصرف منابع را داشته باشند، مرگ به سراغ آنها می‌آید. اگر بخواهیم نکته کلی مطرح‌شده بوسیله مداوار را به شیوه معکوس با استفاده از زبانی که در فصل اول معرفی شد، بیان نماییم، باید بگوییم هر شخص از یک سلسله پیوسته از نیاکان آمده است که در برهه‌ای از زندگی‌شان جوان بوده‌اند، اما بسیاری از آنها هیچگاه به پیری نرسیدند. بنابراین ما هرآنچه را که برای جوان بودن لازم است به ارث برده‌ایم، اما لزوماً نه هر آنچه را که برای پیر بودن موردنیاز است. ما غالباً ژن‌هایی را به ارث می‌بریم که هدف از آنها مرگ ما در مقطعی طولانی پس از تولد باشد و نه در زمانی کوتاه پس از آن.

اگر بخواهیم با لحن بدبینانه‌ی آغاز این فصل سخن بگوییم، هنگامی که تابع مطلوبیت، که در حال بیشینه‌شدن است، همان بقای دی‌ان‌ای باشد، نمی‌تواند باعث خوشبختی گردد. مادامیکه دی‌ان‌ای به نسل بعد منتقل می‌شود، دیگر اهمیت ندارد چه کسی و چه چیزی در اثنای این فرآیند آسیب می‌بیند. ژن‌های زنبور

---

۱ pleiotropy

عقربی ترجیح می‌دهند کرم ابریشم زنده بماند تا گوشتش در هنگام خورده‌شدن تازه باشد و مهم نیست این کار برای کرم تا چه حد زجرآور است. ژن‌ها اهمیتی به رنج و درد موجودات نمی‌دهند زیرا هیچ چیزی برای آنها مهم نیست.

اگر طبیعت مهربان بود، باید از طریق بیهوش‌کردن کرم ابریشم قبل از زنده‌زنده خورده‌شدن از داخل بدن‌شان، حداقل تخفیفی هر چند جزیی در درد آنها می‌داد. اما طبیعت نه مهربان است و نه نامهربان. او نه طرفدار رنج و غذاب است و نه علیه آن. طبیعت هیچ علاقه یا اهمیتی برای رنج دادن و رنج بردن قائل نیست، مگر اینکه بر بقای دی‌ان‌ای تأثیرگذار باشد. به راحتی می‌توان ژنی را تصور کرد که هنگامی که یک غزال در شُرُف کشته‌شدن با دندان‌های یوزپلنگ است، درد آنرا کاهش دهد. آیا همچون ژنی مورد لطف انتخاب طبیعی قرار می‌گیرد؟ خیر، مگر اینکه عمل آرام‌کردن غزال شانس ژن را برای انتقال به نسل‌های آینده افزایش دهد. درک این مطلب دشوار است، و لذا می‌توان حدس زد غزال‌ها درد و ترس وحشتناکی را هنگامی که یوزپلنگی برای گرفتن و کشتن آنها می‌دود، تحمل می‌کنند. زیرا سرنوشت اکثر آنها مرگ است. تعداد کل دفعات تحمل رنج در هر سال در جهان طبیعت از حد تصور خارج است. در همین لحظه که مشغول نوشتن این پاراگراف هستم، هزاران هزار حیوان زنده‌زنده در حال خورده‌شدن هستند؛ هزاران حیوان دیگر ناله‌کنان از ترس در حال فرار و نجات جان‌شان می‌باشند؛ بسیاری دیگر از داخل بوسیله انگل‌های بی‌رحم به آرامی در حال خورده‌شدن هستند؛ هزاران جاندار مختلف بر اثر گرسنگی، تشنگی و بیماری، در حال تلف‌شدن هستند. و باید هم اینگونه باشد. اگر زمانی وفور نعمت برقرار باشد، خود همین مسئله منجر به افزایش جمعیت و مصرف منابع شده و نهایتاً قحطی و فلاکت بازخواهد گشت.

خداباوران با «مسئله شر» و مسئله مرتبط با آن یعنی «مسئله رنج» دست به گریبان هستند. در روزی که این پاراگراف را می‌نوشتم، روزنامه‌های انگلیسی همگی خبر ناگواری را منتشر کردند مبنی بر اینکه اتوبوس حامل کودکان یک مدرسه کلیسای کاتولیک به دلیلی نامعلوم تصادف کرده و تمام سرنشینان آن کشته شده‌اند. بار دیگر، کشیشان گرفتار پرسش الهیاتی قدیمی شدند که نویسنده روزنامه لندنی *ساندی تلگراف* به این صورت آنرا پرسید: «چطور ممکن است به خدایی مهربان، یک قادر مطلق که اجازه وقوع این تراژدی را می‌دهد، باور داشت؟» مقاله در ادامه نقل‌قولی از یک کشیش را به عنوان پاسخ مطرح نمود: «پاسخ ساده آن این است که ما نمی‌دانیم چرا باید خدایی وجود داشته باشد که اجازه وقوع اتفاقات ناگوار را بدهد. اما وحشت آن تصادف، برای یک مسیحی، تأییدکننده این واقعیت است که ما در جهانی از ارزش‌های واقعی زندگی می‌کنیم: ارزش‌های مثبت و منفی. اگر عالم تنها از الکترون‌ها تشکیل شده بود، مسئله شر یا رنج وجود نداشت.»

از طرف دیگر، اگر عالم تنها از الکترون‌ها و ژن‌های خودخواه تشکیل شده باشد، تراژدی‌های بی‌معنایی مانند تصادف این اتوبوس دقیقاً چیزهایی هستند که وقوع آنها را باید در کنار بخت *خوب* بی‌معنا انتظار داشت. این چنین عالمی نه نیت خیری خواهد داشت و نه شر. هیچ نیتی از هیچ نوعی از آن نمی‌توان انتظار داشت. در

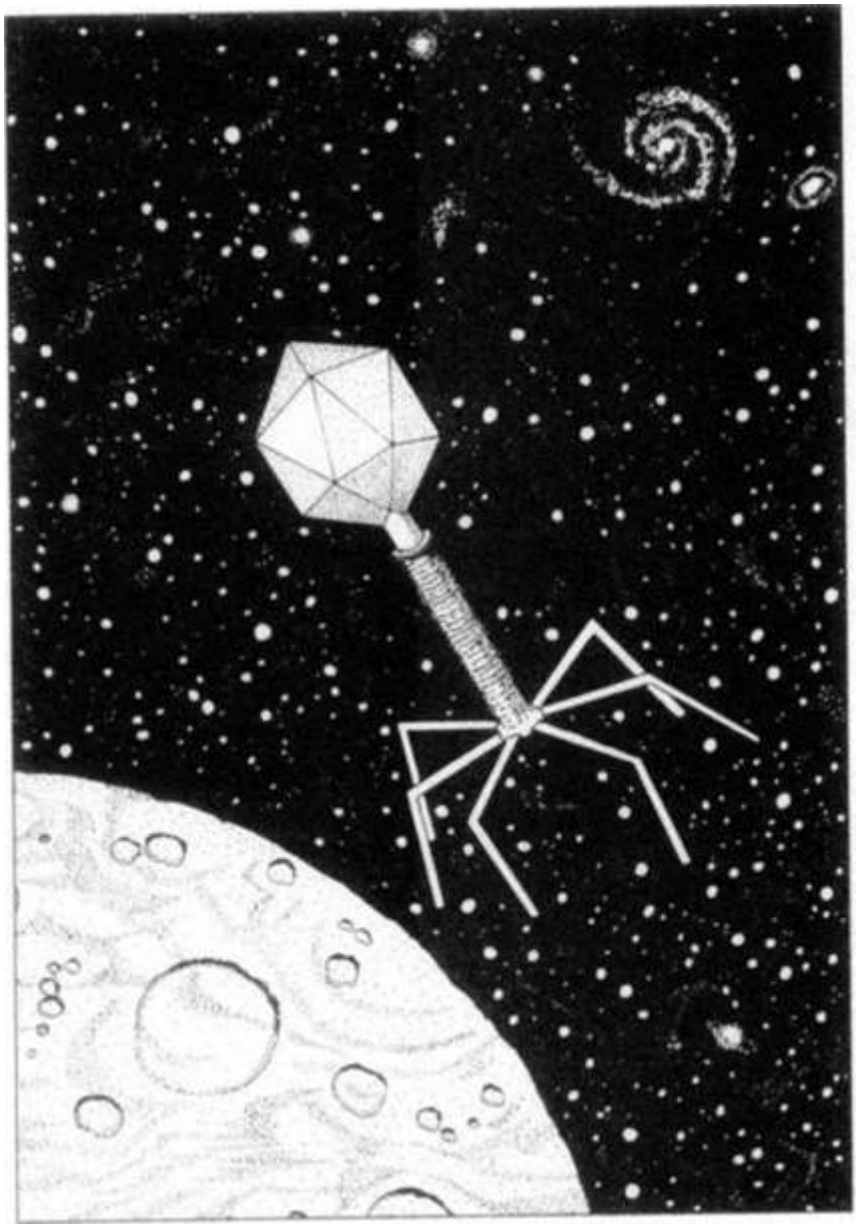
عالم تحتِ کنترلِ نیروهایِ بی‌احساسِ فیزیکیِ و همتاسازیِ ژنتیکی، عده‌ای لاجرم زیر دست و پا خواهند مرد، عده‌ای بخت یارشان خواهد بود، ولی شما در آن نه منطقی خواهید یافت و نه عدالتی. عالمی که ما نظاره می‌کنیم اساساً تمام ویژگی‌های یک عالم بی‌نظم، بی‌هدف، و فاقد خیر و شر را داراست، و به شکلی بی‌رحمانه بی‌اعتنا و بی‌تفاوت است. به قول شاعر غمگین، *اِی. ایی. هاوسمن*[1]:

طبیعت بی‌مهر و بی‌شعور
نه می‌داند و نه اهمیت می‌دهد.

دی‌ان‌ای نه می‌داند و نه اهمیت می‌دهد. دی‌ان‌ای برای خود وجود دارد. و ماییم که به ساز او می‌رقصیم.

---

۱ Houseman .E .A



فصل پنجم
بمب همتاسازی

اکثر ستاره‌ها مانند ستاره منظومه‌ی ما به طور معمول میلیاردها سال است به شکل ثابت شعله‌ور هستند. در مواردی بسیار نادر، جایی در کهکشان، یک ستاره بدون هیچ هشدار قبلی به ناگهان منفجر شده و به ابرنواختر[1] تبدیل می‌شود. در مدت تنها چند هفته، روشنایی آن میلیاردها برابر شده و سپس خاموش شده و در وضعیت تاریک‌تر از حالت اولیه‌اش باقی می‌ماند. یک ستاره، در طول چند روز اول فعالیت شدیدش به عنوان ابرنواختر، ممکن است انرژیی بیش از آنچه طی صدها میلیون سال گذشته به عنوان ستاره معمولی از خود ساطع کرده است، منتشر کند. اگر خورشید منظومه خودمان قرار بود ابرنواختر شود، کل منظومه شمسی در چشم‌برهم‌زدنی بخار می‌شد. خوشبختانه وقوع این اتفاق بسیار غیرمحتمل است. در کهکشان ما که صد میلیارد ستاره وجود دارد، تنها سه ابرنواختر توسط منجمان در سال‌های ۱۰۵۴، ۱۵۷۲، و ۱۶۰۴ میلادی ثبت شده‌است. سحابی سرطان باقی‌مانده رویداد سال ۱۰۵۴ است که توسط منجمان چینی ثبت شد. (هنگامی که از «رویداد سال ۱۰۵۴» صحبت می‌کنم، قطعاً منظورم رویدادی است که خبرش در سال ۱۰۵۴ به زمین رسید. خود رویداد ممکن است شش‌هزار سال قبل از آن رخ داده باشد. ولی امواج نور آن در سال ۱۰۵۴ به ما رسیده است.) از سال ۱۶۰۴، تنها ابرنواخترهای سایر منظومه‌ها مشاهده شده است.

نوع دیگری از انفجار نیز که ممکن است در یک ستاره رخ دهد، وجود دارد. به جای تبدیل‌شدن به «ابرنواختر»، ستاره به «اطلاعات» تبدیل می‌شود. انفجار به صورت آرام‌تر از ابرنواختر شروع شده و در مقایسه مدت بسیار بیشتری طول می‌کشد. ما نام آنرا بمب اطلاعات یا، به دلایلی که بعداً مشخص خواهم کرد، بمب همتاسازی می‌گذاریم. در چند میلیارد سال نخست تشکیل بمب همتاسازی، تنها زمانی می‌توانید آنرا تشخیص دهید که کاملاً نزدیک به آن قرار داشته باشید. در نهایت، رویت نامحسوس این انفجار برای مناطق دورتر فضا به آرامی شروع می‌شود و حداقل به صورت بالقوه از فواصل بسیار دور هم قابل‌تشخیص می‌گردد. ما نمی‌دانیم این انفجار به چه شکل پایان می‌یابد. احتمالاً در پایان مانند یک ابرنواختر ناپدید می‌شود، اما در وهله نخست نمی‌دانیم افزایش شدت آن معمولاً تا کجا ادامه پیدا می‌کند. شاید پایانی پرآشوب داشته باشد و خود را تباه کند. شاید به پراکندن آرام و مکرر اشیایی منجر شود که به جای مسیری پرتابه‌ای و ساده در مسیری هدایت‌شده، به دور از ستاره اصلی و به دل نقاط دوردست فضا حرکت می‌کنند، به جاییکه ممکن است سایر منظومه‌های خورشیدی را به همان انفجار تحریک کند.

---

۱ supernova

دلیل اندک‌بودن دانش ما درمورد بمب‌های همتاسازی در کائنات این است که ما تنها یک نمونه از آنرا دیده‌ایم، و یک مثال از یک پدیده برای تعمیم‌دادن کافی نیست. تاریخ تک‌نمونه‌ی ما هنوز به انتها نرسیده است. این فرآیند بین سه تا چهار میلیارد سال است که در حال رخ دادن است، و تنها مدت کوتاهی است که به آستانه دورشدن از پیرامون ستاره رسیده است. ستاره موردبحث، Sol (الهه خورشید) است، یک ستاره کوتوله زردرنگ که در لبه کهکشان ما، در یکی از بازوهای مارپیچی آن قرار دارد. ما آنرا خورشید می‌نامیم. در واقع انفجار در یکی از اقمار روی مداری نزدیک به خورشید رخ داد، اما منشأ تمام انرژی انفجار از خورشید بود. و البته آن قمر، زمین است، و آن انفجار چهارمیلیاردساله، یا بمب همتاسازی، حیات نام دارد. ما انسان‌ها تجلی بسیار مهم بمب همتاسازی هستیم، زیرا از طریق ما، از طریق مغزهای ما، فرهنگ نمادین ما و فن‌آوری ماست که انفجار می‌تواند به مرحله بعدی خود برود و در عمق فضا طنین‌انداز شود.

همانطور که گفتم، بمب همتاسازی ما، تا به امروز، تنها نمونه‌ای است که از آن در عالم کائنات سراغ داریم، اما الزاماً بدان معنی نیست که رویدادهایی از این دست در ابرنواخترها نادر باشند. مسلماً، ابرنواخترهای یافت‌شده در منظومه ما سه برابر بیشتر از سایر منظومه‌ها بوده است، اما با اینحال، تشخیص ابرنواخترها به خاطر مقدار عظیم انرژی آزادشده آنها، از فاصله دور بسیار ساده است. تا همین چند دهه قبل، یعنی تا قبل از اینکه امواج رادیوییِ ساخت بشر به خارج از جو راه یابد، ناظرانی که ممکن بود حتی در سیاره‌های بسیار نزدیک به ما زندگی کنند، نمی‌توانستند از انفجار حیات ما خبردار شوند. احتمالاً تنها نشانه آشکار انفجار حیات ما تا دوران اخیر، سد بزرگ مرجانی در استرالیا بوده است.

ابرنواختر یک انفجار بسیار عظیم و ناگهانی است. رویداد تحریک‌کننده هر انفجار کمیتی است که اگر مقدار آن از کمیت بحرانی بیشتر شود از کنترل خارج شده و نتیجه‌ای به بار می‌آورد که معمولاً از رویداد تحریک‌کننده اولیه بسیار بزرگتر است. رویداد تحریک‌کننده یک بمب همتاساز ظهور خودبخود موجودیت‌های خودهمتاساز و در عین حال متغیر است. دلیل اینکه خودهمتاسازی یک پدیده بالقوه انفجاری است مشابه دلیل هر انفجار دیگر است: رشد تصاعدی - هرچه بیشتر داشته باشی، بیشتر به دست می‌آوری. به محض اینکه یک شیء خودهمتاساز داشته باشی، در اندک زمانی دو تا خواهید داشت. هر یک از این دو، یک کپی از خود خواهند ساخت و سپس چهار تا خواهی داشت. سپس هشت، شانزده، سی و دو، شصت و چهار... پس از تنها سی نسل همتاسازی، بیش از یک میلیارد شیء تکثیرشونده خواهید داشت. پس از پنجاه نسل، تعداد به هزار میلیون میلیون خواهد رسید. پس از دویست نسل، یک میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون. این از لحاظ نظری است. در عمل، از این رقم فراتر نخواهد رفت، زیرا از شمار اتم‌های موجود در کائنات بیشتر خواهد شد. فرآیند انفجاری نسخه‌برداری از خود، بسیار قبلتر از اینکه به دویست نسل از دوبرابرسازی بی قید و بند برسد، باید محدود شود.

ما ادله عینی درمورد نخستین رویداد همتاسازی که رویدادهای بعدی را روی این سیاره آغاز کرد، در دست نداریم. تنها می‌توان حدس زد که دلیل وقوع آن انفجاری جمع‌کننده بوده که ما بخشی از آن هستیم. دقیقاً از چندوچون رویداد بحرانی اولیه، شروع خودهمتاسازی، آگاه نیستیم، اما می‌توانیم درمورد نوع آن رویداد حدس‌هایی بزنیم. شروع با یک رویداد شیمیایی همراه بوده است.

شیمی نمایشی است که در تمام ستاره‌ها و تمام سیاره‌ها در حال اجراست. بازیگران این نمایش اتم‌ها و مولکول‌ها هستند. حتی نادرترین اتم‌ها نیز براساس قواعد شمارش معمول، تعدادشان بسیار زیاد است. اسحاق آسیموف تعداد اتم‌های عنصر نادر استاتین-۲۱۵[۱] را در سرتاسر آمریکای شمالی و جنوبی تا عمق ده مایل «تنها یک تریلیون» تخمین می‌زد. واحدهای بنیادی شیمی تا ابد در حال تعویض شرکای خود هستند تا جمعیتی در حال تغییر ولی همواره پرتعدادتر از واحدهای بزرگتر، یعنی مولکول‌ها را ایجاد کنند. مولکول‌های یک ماده خاص، هر چقدر پرتعداد باشند، برخلاف حیواناتِ یک گونه خاص یا ویولن‌های مشهور *استرادی واریوس*[۲] ایتالیایی و شاگردانش، همواره عیناً مانند هم هستند. شیوه رقص اتمی شیمی به پرجمعیت‌شدن برخی مولکول‌ها و کم‌یاب‌شدن مولکول‌های دیگر در جهان منتهی می‌شوند. طبیعتاً یک زیست‌شناس وسوسه می‌شود مولکول‌هایی که تعدادشان در جمعیت بسیار زیاد است را «موفق» بخواند. اما نباید تسلیم این وسوسه شد زیرا کمکی به ما نمی‌کند. موفقیت، به معنای روشنگرانه کلمه، یک ویژگی است که تنها در مراحل بعدی داستان پیدایش می‌شود.

پس رویداد بحرانی بسیار مهمی که انفجار حیات را آغاز کرد، چه بود؟ همانطور که گفتم ظهور موجودیت‌های خودهمتاساز سرآغاز این تحول بود، اما می‌توانیم آنرا شروع پدیده وراثت نیز بنامیم - فرآیندی که نام آنرا می‌توان «شباهت، شباهت می‌آورد» گذاشت. این چیزی نیست که مولکول‌ها به شکل معمول به نمایش بگذارند. مولکول‌های آب، با اینکه به تعداد بی‌نهایت زیاد در کنار هم قرار می‌گیرند، هیچ نشانه کوچکی از وراثت واقعی از خود نشان نمی‌دهند. در ظاهر ممکن است فکر کنید، این کار را می‌کنند. هنگامی که هیدروژن (H) همراه با اکسیژن (O) می‌سوزد، جمعیت مولکول‌های آب (H_2O) افزایش پیدا می‌کند. هنگامی که آب از طریق الکترولیز به حباب‌های هیدروژن و اکسیژن تجزیه می‌شود، جمعیت مولکول‌های آب کاهش می‌یابد. اما علیرغم اینکه نوعی پویایی جمعیتی در مولکول‌های آب وجود دارد، هیچگونه وراثتی نمی‌توان مشاهده کرد. کمترین شرایط برای وراثت واقعی، وجود حداقل دو نوع متمایز مولکول H_2O است، که هر دوی آنها موجب ایجاد («تولیدمثل») کپی‌های از نوع خود شوند.

---

۱ astatine-۲۱۵

۲ Stradivarius

برخی اوقات مولکول‌ها دارای دو گونه آینه‌ای هستند. دو نوع مولکول گلوکز وجود دارد، که حاوی اتم‌های مشابه هستند که مانند قطعات بازی تینکرتوی به شیوه‌ای مشابه به هم متصل شده‌اند با این تفاوت که مولکول‌ها همانند تصویر یکدیگر در آیینه اند. همین مسئله درمورد مولکول انواع دیگر قند و نیز بسیاری از انواع دیگر مولکول صادق است، از جمله مولکول‌های حیاتی آمینواسید. شاید در این مورد فرصتی برای وقوع فرآیند «شباهت، شباهت می‌آورد»، یعنی وراثت شیمیایی، وجود داشته باشد. آیا مولکول‌های دست راست می‌توانند مولکول‌های دختر دست راست و مولکول‌های دست چپ مولکول‌های دختر دست چپ را تولید کنند؟ ابتدا، نیاز است اندکی اطلاعات پایه درمورد مولکول‌های تصویر آینه‌ای داشته باشید. این پدیده توسط دانشمند بزرگ فرانسوی قرن نوزدهم، لویی پاستور، هنگامی که به کریستال‌های تارترات[۱]، که نمک اسید تارتاریک[۲] است، به عنوان ماده‌ای مهم در شراب نگاه می‌کرد، کشف شد. یک کریستال، ساختاری یکدست دارد، و به اندازه کافی بزرگ هست تا با چشم غیرمسلح روی گردنبند دیده شود. هنگامی که اتم‌ها یا مولکول‌های یکسان روی هم قرار می‌گیرند تا تشکیل جسمی یکدست را بدهند، کریستال ساخته می‌شود. البته این کار به شکل درهم و برهم انجام نمی‌شود بلکه به صورت یک آرایش منظم هندسی، مانند رژه منظم سربازانی با قد و هیکل برابر صورت می‌گیرد. مولکول‌هایی که از قبل بخشی از کریستال هستند الگویی را برای افزودن مولکول‌های جدید تشکیل می‌دهند. مولکول‌هایی که از داخل یک محلول آبکی بیرون می‌آیند دقیقاً بر روی مولکول‌های قبلی قرار می‌گیرند به شکلی که کل کریستال به صورت یک شبکه دقیق و هندسی رشد می‌کند. به همین دلیل است که کریستال‌های نمک دارای ظاهر مکعبی و کریستال‌های الماس چهاروجهی (لوزی‌مانند) هستند. هنگامی که شکلی به عنوان الگو برای ساخت شکل دیگری شبیه خود عمل می‌کند، امکان وجود خودهمتاسازی به ذهن ما خطور می‌کند.

اکنون به کریستال‌های تارترات پاستور بازگردیم. پاستور متوجه شد هنگامی که یک محلول تارترات را در آب به حال خود رها می‌کند، *دو* نوع متفاوت کریستال کاملاً مشابه ظاهر می‌شوند با این تفاوت که تصاویر آینه‌ای یکدیگر هستند. او با زحمت فراوان دو نوع کریستال را به دو توده مجزا تفکیک کرد. هنگامی که آنها را به صورت جداگانه مجدداً حل نمود، دو محلول مختلف بدست آورد، دو نوع تارترات در محلول. با اینکه دو محلول در اغلب موارد مشابه بودند، پاستور متوجه شد آنها نور پلاریزه‌شده را در جهت مخالف می‌چرخاندند. همین مسئله موجب شده است دو نوع مولکول، به صورت قراردادی مولکول‌های «چپ‌گردان»[۳] و «راست‌گردان»[۴] نامیده شوند، زیرا آنها نور پلاریزه‌شده را در جهت چرخش عقربه‌های ساعت و بالعکس

---

۱ tartrate

۲ idac tartaric

۳ handed-left

۴ edhand-right

می‌چرخانند. همانگونه که احتمالاً حدس می‌زنید، هنگامی که یک بار دیگر به دو محلول اجازه تشکیل کریستال یا تبلور داده شد، هر یک کریستال‌های خالصی را درست کردند که انعکاس آینه‌ای کریستال‌های خالص یکدیگر بودند.

مولکول‌های تصویر آینه‌ای مانند کفش پای چپ و راست، کاملاً متمایز هستند، و هر چقدر تلاش کنید نمی‌توانید آنها را به شکلی بچرخانید که جایگزین یکدیگر شوند. محلول اصلی پاستور ترکیبی از دو نوع مولکول بود، و آن دو نوع هر یک اصرار داشت در هنگام تشکیل کریستال با هم نوع خود در یک ردیف قرار بگیرد. وجود دو گونه متمایز (یا بیشتر) از یک موجودیت شرط لازم برای وراثت واقعی است نه شرط کافی. برای اینکه وراثت واقعی در بین کریستال‌ها وجود داشته باشد، باید هنگامی که کریستال‌های چپ‌گردان و راست‌گردان به ابعاد بحرانی رسیدند، به دوم نیم تقسیم شده و هر نیمه به عنوان الگویی برای رشد مجدد تا ابعاد کامل عمل کند. تحت این شرایط، به صورت واقعی جمعیت درحال‌رشدی از دو نوع کریستال رقیب خواهیم داشت. به درستی می‌توان از «موفقیت» در جمعیت سخن به میان آورد، زیرا - از آنجایی که هر دو نوع مولکول برای اتم‌های سازنده یکسان در رقابت هستند - یکی از آنها ممکن است، به لطف «موفق» بودن در تکثیر خود، از نظر افزایش فراوانی خود از دیگری پیشی بگیرد. متأسفانه، اکثریت زیادی از مولکول‌های شناخته‌شده فاقد این ویژگی منحصربه‌فرد وراثت هستند.

دلیل تأسف من این است که شیمی‌دانان در راستای تحقق اهداف پزشکی، در تلاشند مولکول‌هایی بسازند که همگی، بالفرض، چپ‌گردان، باشند، و بسیار مایلند بتوانند آنها را وادار به «زاد و ولد» کنند. اما مادامیکه مولکول‌ها به عنوان الگو برای تشکیل سایر مولکول‌ها عمل می‌کنند، معمولاً این کار را برای تصویر آینه‌ای خود انجام می‌دهند، نه برای شکل مولکولی هم سمت خود. این موضوع مسئله را پیچیده می‌کند، زیرا اگر با شکل چپ‌گردان شروع کنید، در نهایت ترکیبی برابر از مولکول‌های چپ‌گردان و راست‌گردان خواهید داشت. شیمی‌دانان این رشته در تلاشند مولکول‌ها را با ترفندی به «زاد و ولد» مولکول‌های دختر با همان گرایش چپ یا راست وادار کنند. انجام این ترفند بسیار دشوار است.

در عمل، با اینکه احتمالاً مسئله گرایش به چپ/راست در میان نبود، نسخه‌ای از این ترفند به صورت طبیعی و خودبخود چهار هزار میلیون سال قبل، هنگامی که جهان جوان بود اجرا شد و انفجاری که به حیات و اطلاعات منجر شد، آغاز گردید. اما پیش از اینکه انفجار قادر باشد به شکلی مناسب پیشرفت خود را ادامه دهد، چیزی بیش از وراثت صِرف موردنیاز بود. حتی اگر یک مولکول وراثت واقعی را بین اشکال چپ‌گردان و راست‌گردان به نمایش بگذارد، هرگونه رقابت بین آنها پیامدهای چندان جالبی به دنبال نخواهد داشت، زیرا آنها تنها دو نوع مولکول هستند. به محض اینکه چپ‌گردان‌ها در رقابت برنده شوند، موضوع خاتمه خواهد یافت. هیچ پیشرفت دیگری وجود نخواهد داشت.

مولکول‌های بزرگتر می‌توانند گرایش به چپ/راست را در بخش‌های متفاوتی از مولکول نشان دهند. آنتی‌بیوتیک مونِنسین[1]، به عنوان مثال، دارای هفده مرکز تقارن است. در هر یک از این هفده مرکز تقارن، یک شکل چپ‌گردان و یک شکل راست‌گردان وجود دارد. دو به توان ۱۷ برابر است با ۱۳۱۰۷۲، بنابراین ۱۳۱۰۷۲ شکل متمایز از مولکول وجود دارد. اگر این ۱۳۱۰۷۲ شکل دارای ویژگی وراثت واقعی بودند، به صورتیکه هر یک تنها از نوع خود تولید می‌کرد، رقابت بسیار تنگاتنگ می‌شد، زیرا موفقترین اعضاء مجموعه ۱۳۱۰۷۲ تایی به تدریج خود را در آمارهای بعدی جمعیت وارد می‌کردند. اما حتی این نیز یک نوع محدود از وراثت می‌بود، زیرا ۱۳۱۰۷۲ با اینکه عدد بزرگی است، همچنان محدود است. برای اینکه یک انفجار را بتوان واقعاً انفجار حیات دانست، علاوه بر وراثت، به تنوع نامحدود و باز نیز نیاز است.

در رابطه با وراثت تصویر آینه‌ای، با مونسین، ما به انتهای راه رسیده‌ایم. اما تقابل چپ‌گردان و راست‌گردان تنها تفاوت مناسب احتمالی برای کپی‌کردن وراثتی نیست. *ژولیوس ربک*[2] و همکارانش در انستیتوی فن‌آوری ماساچوست، شیمی‌دان‌هایی بودند که چالش تولید مولکول‌های خودهمتاساز را جدی گرفتند. گونه‌هایی که آنها مورداستفاده قرار دادند، تصاویر آینه‌ای نبودند. ربک و همکارانش دو مولکول کوچک را انتخاب کردند - نام‌های کامل آنها اهمیتی ندارد، اجازه دهید آنها را A و B بنامیم. هنگامی که A و B در محلول ترکیب می‌شوند، با هم متصل می‌شوند و یک ماده سوم به نام C ایجاد می‌کنند. هر مولکول C به عنوان یک الگو یا قالب عمل می‌کند. Aها و Bها، که آزادانه در محلول شناور هستند، خود را در قالب جا می‌دهند. یک A و یک B در قالب جا می‌گیرند، و به همین دلیل به شکل صحیح در کنار هم قرار می‌گیرند تا یک C جدید را درست کنند، درست مثل قبلی. Cها برای تشکیل یک کریستال، به یکدیگر نمی‌چسبند بلکه از هم جدا می‌شوند. هر دو C اکنون به عنوان الگویی برای ساخت Cهای جدید دردسترس هستند، بنابراین جمعیت Cها به صورت تصاعدی رشد می‌کند.

همانطور که قبلاً شرح دادیم، این سیستم وراثت واقعی را به نمایش نمی‌گذارد اما ادامه را مشخص می‌کند. مولکول B در اشکال گوناگونی وجود دارد، هر یک از این اشکال با A ترکیب می‌شود تا نسخه مولکول C خود را درست کند. بنابراین C۱، C۲، C۳، و ... را داریم. هر یک از نسخه‌های مولکول C به عنوان الگویی برای تشکیل Cهای دیگر هم نوع خود عمل می‌کند. بنابراین جمعیت Cها ناهمگن است. علاوه‌براین، همه انواع C به طور مساوی از کارآمدی کافی برای تولید دخترها برخوردار نیستند. بنابراین، رقابتی بین نسخه‌های رقیب C در جمعیت مولکول‌های C وجود دارد. بهتر از این اینکه، «جهش خودبخود» مولکول C را می‌توان بوسیله تشعشع فرابنفش تحریک نمود. نوع جهش‌یافته جدید دارای «تولیدمثل واقعی» است و مولکول‌های دختری درست مانند خود تولید می‌کند. گونه جدید به نحو رضایت‌بخشی از نوع والد پیشی گرفته و به سرعت جهان

---

۱ monensin

۲ Rebek Julius

لوله آزمایش را فرامی‌گیرد، جایی که این نمونه‌های اولیه هستی خود را در آن آغاز می‌کنند. ترکیب A/B/C تنها مجموعه مولکول‌هایی نیست که بدین شکل عمل می‌کند. D، E و F یکی از سه‌تایی‌های مشابه دیگر است. گروه ربک حتی توانستند هیبریدهای خودهمتاسازی از عناصر ترکیب A/B/C و ترکیب D/E/F را درست کنند.

مولکول‌های خودتکثیر واقعی که در طبیعت می‌شناسیم یعنی نوکلئیک اسیدهای DNA و RNA - در کل پتانسیل بالاتری برای تغییرپذیری دارند. در حالیکه همتاساز ربک زنجیره‌ای با تنها دو حلقه است، یک مولکول دی‌ان‌ای، زنجیره‌ای دراز با طول نامحدود است: هر یک از صدها حلقه این زنجیر می‌تواند یکی از چهار نوع باشد: و هنگامی که تکه مشخصی از دی‌ان‌ای به عنوان الگویی برای تشکیل یک مولکول جدید دی‌ان‌ای عمل می‌کند، هر یک از آن چهار نوع به عنوان الگویی برای یک نمونه‌ای دیگر از آن چهار نوع عمل می‌کند. این چهار واحد، که به عنوان «باز» شناخته می‌شوند، عبارتند از ترکیبات ادنین[۱]، تیمین[۲]، سیتوسین[۳] و گوانین[۴]، که بطور قراردادی آنها را A، T، C، و G می‌نامیم. A همواره به عنوان الگویی برای T عمل می‌کند و بالعکس. G همواره به عنوان الگویی برای C عمل می‌کند و بالعکس. هرگونه ترتیب احتمالی از A، T، C و G امکان‌پذیر است و این ترتیب بدون تغییر تکثیر خواهد شد. علاوه‌براین، از آنجاییکه زنجیره‌های دی‌ان‌ای طول نامحدودی دارند، دامنه تنوعات موجود عملاً بی‌پایان است. این نسخه‌ای بالقوه برای انفجار اطلاعات است. انفجاری که موج آن می‌تواند نهایتاً از سیاره خاستگاه آن فراتر رفته و به ستارگان برسد.

امواج انفجار همتاساز منظومه شمسی ما قسمت اعظم این چهار میلیارد سال پس از انفجار را در سیاره خاستگاه خود محصور بوده‌اند. تنها در یک میلیون سال آخر، صاحب دستگاه عصبی شده است که قادر به ابداع فن‌آوری امواج رادیویی است. و تنها در چند دهه گذشته این دستگاه عصبی در عمل توانسته است فن‌آوری امواج رادیویی را توسعه دهد. اکنون، یک قشر در حال انبساط از امواج رادیویی غنی از اطلاعات با سرعت نور به سمت خارج از سیاره در حال پیشروی است.

قید «غنی از اطلاعات» را از این رو استفاده کردم که از قبل پژواک امواج رادیویی فراوانی در کائنات وجود دارد. ستارگان فرکانس‌های رادیویی و نیز فرکانس‌هایی که ما به عنوان نور مرئی می‌شناسیم از خود ساطع می‌کنند. حتی مقداری صدای هیس در پس‌زمینه جهان از انفجار مهبانگ (بیگ‌بنگ) اصلی که آغازکننده زمان و عالم بوده باقی مانده است. اما الگویی معنادار در این امواج وجود ندارد: به عبارتی از نظر اطلاعات غنی نیستند.

---

۱ adenine
۲ thymine
۳ cytosine
۴ guanine

یک اخترشناس رادیویی[۱] بر روی سیاره‌ای که به دور ستاره کوتوله پروکسیما قنطورس[۲] می‌چرخد، همان صدای هیس پس‌زمینه که اخترشناسان رادیویی بر روی زمین حس می‌کنند را تشخیص می‌دهد، با اینحال یک الگوی امواج رادیویی کاملاً پیچده‌تر را نیز از سمت ستاره Sol دریافت می‌نماید. البته این الگو به شکل مجموعه‌ای از برنامه‌های تلویزیونی خردسالان دریافت نمی‌شود، بلکه کلاً برخلاف هیس پس‌زمینه، به صورت امواجی با الگوی مشخص و غنی از نظر اطلاعات تشخیص داده می‌شود. اخترشناسان رادیویی ستاره پروکسیما قنطورس با هیجان فراوان گزارش می‌کنند ستاره Sol همانند یک ابرنواختر اطلاعاتی منفجر شده است (حدس می‌زدند در واقع یک سیاره بوده است که دور ستاره Sol می‌چرخیده ولی درمورد این قضیه اطمینان ندارند).

بمب‌های همتاساز، همانگونه که دیدیم، دوره زمانی کندتری نسبت به ابرنواخترها دارند. بمب همتاساز ما چندین میلیارد سال طول کشیده است تا به آستانه امواج رادیویی برسد - یعنی به لحظه‌ای که در آن انتشار اطلاعات از دنیای والد سرریز شده و منظومه‌های ستاره‌ای همسایه را غرق در پالس‌های معنادار کرده است. می‌توان حدس زد که انفجارهای اطلاعات (درصورتی که انفجار ما شکل معمولی از آن باشد) از یک سری آستانه‌های درجه‌بندی‌شده عبور می‌کنند. آستانه رادیویی، و قبل از آن، آستانه زبان تا حدودی دیرتر در دوره تطور بمب همتاسازی بوجود آمد. قبل از اینها آنچه - حداقل روی این سیاره خاکی - بود را می‌توان آستانه سلول‌های عصبی نامید و قبل از آن آستانه چندسلولی بود. آستانه شماره یک که پدربزرگ تمام آستانه‌های دیگر است، آستانه همتاسازی است، رویدادی تحریک‌کننده که کل انفجار را امکان‌پذیر ساخت.

اهمیت همتاسازان در چیست؟ چگونه شانس یک مولکول با ویژگی به نظر بی‌خاصیتِ «عمل‌کردن به عنوان قالبی برای ساخت مولکولی دیگر مانند خودش» می‌تواند به عنوان ماشه یک انفجار عمل کند به طوریکه پیامدهای نهایی آن بتواند به ماورای سیارات برسد؟ همانطور که دیدیم، بخشی از قدرت همتاسازان در رشد تصاعدی آنها نهفته است. همتاسازان رشد تصاعدی را در یک شکل کاملاً واضح به نمایش می‌گذارند. یک مثال ساده نامه‌های به اصطلاح «نامه‌های زنجیره‌ای» است. شما از طریق پست کارت‌پستالی را دریافت می‌کنید که بر روی آن نوشته شده است: «از این کارت شش کپی رونویسی کنید و ظرف یک هفته آنها را برای شش نفر از دوستان‌تان بفرستید. اگر این کار را نکنید، گرفتار نفرین می‌شوید و در کمتر از یک ماه با مرگ دردناکی خواهید مرد. اگر انسان عاقلی باشید، آنرا دور خواهید انداخت. اما درصد نسبتاً بالایی از مردم خرافاتی هستند؛ تهدید نامه به شکلی مبهم آنها را وسوسه کرده یا آنها را به هراس می‌اندازد، و لذا شش کپی از آن را برای دوستان می‌فرستند. از بین این شش نفر، احتمالاً دو نفر متقاعد شده و آنرا به شش نفر دیگر ارسال می‌کنند. اگر به طور میانگین، یک سوم از افرادی که کارت‌پستال را دریافت می‌کنند به دستورالعمل نوشته‌شده بر روی آن عمل کنند، تعداد کارت‌های در گردش در هر هفته دوبرابر خواهد شد. از لحاظ نظری، این بدان معناست که تعداد

---

۱ radioastronomer

۲ Centaurian

کارت‌های در گردش پس از یک سال، ۲ به توان ۵۲ یا حدود چهار هزار تریلیون خواهد شد. این تعداد کارت‌پستال برای پوشاندن تمام سطح زمین و ساکنانش کافی است.

اگر کمبود منابع رشد تصاعدی را متوقف نکند، همواره در مدت زمانی بسیار کوتاه به نتایج هولناک عظیمی منجر خواهد شد. در عمل، منابع محدود هستند، و سایر عوامل نیز رشد تصاعدی را محدود می‌کنند. در مثال فرضی ما، هنگامی که همان نامه زنجیره‌ای برای نوبت دوم برای کسی فرستاده می‌شود، احتمالاً این بار کمی شک و تردید به وی دست می‌دهد. در رقابت برای منابع، برخی گونه‌های مختلف همتاساز ممکن است پیدا شوند که در تکثیر خود کارآمدتر باشند. این همتاسازان کارآمدتر اغلب حریفان کمتر کارآمد خود را کنار می‌زنند. درک این مسئله مهم است که هیچیک از این موجودیت‌های همتاساز آگاهانه علاقه‌ای به اینکه خود را تکثیر کند، ندارد. اما از سر اتفاق، جهان پر از همتاسازانی خواهد شد که کارآمدتر هستند.

در مورد نامه زنجیره‌ای، کارآمد بودن ممکن است عبارت باشد از گردآوری مجموعه‌ای از واژگان بهتر بر روی کاغذ. به جای عبارت تاحدی نامعقول «اگر این کار را نکنید، گرفتار نفرین می‌شوید و در کمتر از یک ماه با مرگ دردناکی خواهید مرد.»، شخصی ممکن است پیام را به این صورت تغییر دهد: «خواهش می‌کنم، عاجزانه التماس می‌کنم، برای نجات جان من و خودتان، ریسک نکنید: اگر کمترین شکی دارید، دستورالعمل‌ها را اجرا کنید و نامه را به شش نفر دیگر بفرستید.» اینگونه «جهش‌ها» می‌توانند به کرّات رخ دهند، و در نهایت به ایجاد یک جمعیت ناهمگون از پیام‌های در گردش منتهی شود که همگی تبار یک نیای اصلی واحد هستند اما از نظر جزئیات عبارت‌بندی و در قدرت تأثیرگذاری و ماهیت زبان چرب و نرمی که به کار می‌برند، متفاوت هستند. گونه‌هایی که موفق‌تر هستند، به قیمت کنارزدن حریفان کمتر موفق، تعداد خود را افزایش می‌دهند. موفقیت صرفاً برابر است با تعداد در گردش. «نامه یهودای مقدس» مثالی مشهور از این موفقیت است؛ این نامه چند بار دور جهان سفر کرده و احتمالاً هنوز هم دست به دست می‌شود. هنگامی که در حال نگارش این کتاب بودم، نسخه‌ای از آن توسط *دکتر اولیور گودایناف*[1]، از دانشگاه ورمونت، برای من ارسال شد. ما مشترکاً مطلبی با عنوان «ویروس ذهن»، در مجله *نیچر*، منتشر کردیم:

«با عشق، هر چیزی امکان‌پذیر است»

این نامه اقبال شماست. اصل این نامه در نیوانگلند است. پیش از این ۹ بار دور زمین گشته است. بخت بلند به سوی شما آمده است. در مدت ۴ روز از دریافت این نامه، خوش‌شانسی به سراغ شما خواهد آمد، به شرطی که آنرا برای شخص دیگری ارسال کنید. این یک شوخی نیست. خوش‌شانسی را از طریق پست دریافت خواهید کرد. هیچ پولی ارسال نکنید. کپی‌هایی از این نامه را به کسانی که فکر می‌کنید به خوش‌شانسی نیاز دارند، ارسال کنید. از ارسال پول خودداری کنید زیرا ایمان قیمتی ندارد. از نگهداری این نامه خودداری کنید. ظرف مدت ۹۶ ساعت باید آنرا ارسال کرده باشید. یک افسر A.R.Y. (سازمان هشدارهای حمله هوایی انگلستان) به نام جو *الیوت* مبلغ ۴۰ میلیون دلار دریافت کرد. *جئو ولش* ۵ روز پس از این نامه همسرش را از دست داد. او از ارسال این نامه خودداری

---

۱ Goodenough Oliver

کرده بود. با اینحال، قبل از مرگ همسرش، او ۷۵۰۰۰ دلار دریافت کرد. لطفاً نسخه‌هایی از آنرا ارسال کرده و ببینید چه اتفاقی پس از ۴ روز می‌افتد. مبداء این نامه زنجیره‌ای ونزوئلاست و توسط *سائول آنتونی دگناس*، یک مبلغ مذهبی اهل آفریقای جنوبی نوشته شده است. از آنجا که این نامه باید دور زمین بگردد، باید ۲۰ نسخه از آنرا تهیه کرده و آنها را به دوستان و همکاران‌تان بفرستید. پس از چند روز غافلگیر خواهید شد. حتی اگر آدمی خرافاتی نیستید، این نامه‌ی عشق است. به نکات زیر *دقت کنید*: *کنتوناره دیاس* این نامه را در سال ۱۹۰۳ دریافت کرد. او از منشی‌اش خواست نسخه‌هایی از آن تهیه کرده و برای دیگران ارسال کند. چند روز بعد، او در لاتاری ۲۰ میلیون دلار برنده شد. *کارل دابیت*، یک کارمند این نامه را دریافت کرد و فراموش نمود آنرا ظرف ۹۶ ساعت ارسال کند. او شغلش را از دست داد). پس از پیداکردن نامه، مجدداً نسخه‌هایی تهیه کرد و به ۲۰ نفر ارسال کرد. چند روز پس از آن، یک شغل بهتر پیدا کرد. *دولان فرچایلد*، نامه را دریافت کرد و از روی بی‌اعتقادی، آنرا دور انداخت. ۹ روز بعد مرد. در سال ۱۹۸۷، یک زن جوان در کالیفرنیا نامه را دریافت کرد. متن نامه محو شده بود و به زحمت قابل‌خواندن بود. به خودش قول داد آنرا دوباره تایپ کند و برای اشخاص دیگری ارسال کند. نامه را کنار گذاشت تا بعداً این کار را انجام دهد. مشکلات زیادی به سراغش آمده بود، منجمله مشکلات مربوط به خودروی گران‌قیمتش. نامه‌ها را ظرف ۹۶ ساعت ارسال نکرد. نهایتاً نامه را طبق قولی که داده بود تایپ کرد و صاحب یک خودروی نو شد. فراموش نکنید هیچ پولی نفرستید. آنرا جدی بگیرید - حتماً نتیجه آن را خواهید دید.
یهودای مقدس

این نامه مضحک تمام مشخصات تغییر و تحول طی چند جهش را داراست. خطاها و اشتباهات فراوانی در آن وجود دارد، و نسخه‌های متفاوتی از آن دست به دست می‌شود. از زمانیکه مقاله ما در *نیچر* چاپ شد، نسخه‌های بسیار متفاوتی از آن برای من از سرتاسر جهان ارسال شده است. در یکی از متون متفاوت آن، به عنوان مثال، به جای «افسر .A.R.P»، از «افسر .R.A.F» نام می‌برد. نامه یهودای مقدس برای سرویس پستی ایالات متحده موضوعی آشناست، و حتی طبق گزارش این اداره، سابقه این نامه حتی به قبل از زمان شروع ثبت رسمی نامه‌های آنها باز می‌گردد و اخیراً (دهه نود میلادی) بار دیگر شیوع همه‌گیر آن آغاز شده است.

توجه داشته باشید که فهرست خوش‌شانسی‌های ادعاشده از نگارنده‌های نامه‌ها و بلایایی که به سر منکران نامه آمده بود را خودِ افراد خوش‌اقبال یا بداقبال نمی‌توانستند نوشته باشند. بخت خوب ادعاشده از سوی خوش‌اقبالان زمانی به سراغشان آمده بود که نامه را ارسال کرده بودند. و قربانیان بداقبال هم نامه را برای کسی نفرستاده بودند. احتمالاً این داستان‌ها صرفاً یک دروغ‌بافی بودند. هر شخص بی‌طرفی می‌تواند از نامعقول‌بودن محتوای نامه این نکته را حدس بزند. در اینجا به جنبه اصلی تفاوت نامه‌های زنجیره‌ای با همتاسازان طبیعی که انفجار حیات را آغاز کردند، می‌رسیم. نامه‌های زنجیره‌ای توسط انسان‌ها شروع شد، و تغییراتی که در عبارت‌بندی آن رخ داد نیز حاصل ذهن انسان بود. در آغاز انفجار حیات، نه ذهنی وجود داشت، نه خلاقیت و نه قصد و نیتی. تنها چیزی که وجود داشت، شیمی بود. با اینحال به محض اینکه مواد شیمیایی خودهمتاساز شانس این را پیدا کردند که بوجود بیایند، یک تمایل خودکار برای افزایش تعداد گونه‌های موفق‌تر به ازای کاهش گونه‌های کمتر موفق ظاهر شد.

مانند مورد نامه‌های زنجیره‌ای، موفقیت در بین همتاسازان شیمیایی صرفاً مترادف است با فراوانی در گردش. اما این تنها یک تعریف، یک همانگویی (بیان یک مفهوم واحد با دو شکل متفاوت) است. موفقیت بوسیله قابلیت عملی بدست می‌آید، و قابلیت باید ملموس و عینی باشد نه حشوآمیز. یک مولکول همتاساز موفق،

مولکولی خواهد بود که از لحاظ جزئیات فنی شیمیایی، آنچه را که برای تکثیر نیاز است، دارا باشد. حتی علیرغم اینکه ماهیت خود همتاسازان ممکن است به شکلی شگفت‌آور یکدست به نظر برسد، موضوع فوق در عمل به این معناست که گوناگونی تقریباً بی‌پایانی می‌تواند وجود داشته باشد.

دی‌ان‌ای به قدری یکدست است که تنها از تغییر در توالی چهار «حرف» مشابه - یعنی A، T، C، G - تشکیل شده است. در مقایسه، همانگونه که در فصل‌های پیشین دیدیم، روش‌های مورداستفاده توسط توالی‌های دی‌ان‌ای برای تکثیر خود به شکلی گیج‌کننده متغیر هستند. این روش‌ها دربرگیرنده ایجاد قلب‌های کارآمدتر برای اسب‌های آبی، پاهای فنری‌تر برای کک‌ها، بال‌های آئرودینامیک‌تر برای بادخورک‌ها، و کیسه‌ی شنای دارای قابلیت شناوری بیشتر برای ماهی‌ها است. اندام‌ها و دست‌وپای حیوانات؛ ریشه، برگ و گل گیاهان: چشم و مغز و ذهن و حتی بیم‌ها و امیدهای آنها، همه ابزاری هستند که با آنها توالی‌های موفق دی‌ان‌ای خود را به آینده منتقل می‌کنند. خود این ابزار به شکلی تقریباً بی‌پایان متغیر هستند، اما در مقابل، اجزای مورداستفاده در ساخت این ابزار به شکلی مضحک ثابت هستند. صرفاً جایگشت‌هایی از A، T، C، و G.

اما احتمالاً همیشه به این صورت نبوده است. مدرکی دال بر این در دست نداریم که هنگام شروع انفجار اطلاعات، کد هسته با حروف دی‌ان‌ای نوشته شده باشد. البته، کل فن‌آوری اطلاعات مبتنی بر دی‌ان‌ای/پروتئین به قدری پیچیده است (*گراهام کرنز-اسمیت*[1] آنرا «فن‌آوری بالا» می‌نامد) که به زحمت می‌توان تصور کرد براساس شانس بوجود آمده باشد و سیستم خودهمتاساز دیگری به عنوان پیشگام قبل از آن وجود نداشته باشد. این پیشگام ممکن است آران‌ای بوده باشد: یا ممکن است چیزی مانند مولکول‌های خودهمتاساز ساده ژولیوس ربک؛ یا شاید چیزی کاملاً متفاوت: یک احتمال وسوسه‌انگیز، که آنرا به صورت مفصل در کتاب *ساعت‌ساز نابینا* موردبحث قرار داده‌ام، پیشنهاد خود کرنز-اسمیت درمورد کریستال‌های رس غیرآلی به عنوان همتاسازان آغازین است (رجوع کنید به کتاب او: *هفت سرنخ آغاز حیات*). ممکن است هیچگاه به اطمینان نرسیم.

آنچه می‌توان انجام داد این است که درمورد گاه‌شماری کلی رخدادهای مربوط به انفجار حیات بر روی هر سیاره‌ای در هر جای عالم گمانه‌زنی کنیم. جزییات آنچه کار خواهد کرد، باید به شرایط محلی بستگی داشته باشد. سیستم دی‌ان‌ای/پروتئین در دنیایی از آمونیاک مایع سردشده کار نمی‌کند، اما شاید یک سیستم وراثت و جنینی دیگر کار کند. به هر حال، آنها تنها انواع خاصی هستند که مایلم نادیده بگیرم، زیرا می‌خواهم بر اصول دستورالعمل کلی که مستقل از سیاره هستند، تمرکز کنم. اکنون به طور سیستماتیک‌تری فهرست آستانه‌هایی که می‌توان انتظار داشت هر بمب همتاساز سیاره‌ای از آن عبور کند را بررسی می‌کنم. برخی از این آستانه‌ها احتمالاً آستانه‌هایی واقعاً جهانی باشند. آستانه‌ها ممکن است منحصر به سیاره ما باشند. همواره ممکن

---

۱ Smith-Cairns Graham

است تعیین اینکه کدامیک از این آستانه‌ها جهانی هستند و کدامیک محلی، ساده نباشند و این پرسش در جای خود جالب است.

آنگونه که انتظار می‌رود، آستانه ۱ خودِ آستانه همتاساز است: ظهور نوعی سیستم خودکپی‌کننده که در آن حداقل یک شکل ابتدایی از گوناگونی وراثتی همراه با اشتباهات تصادفی گاه‌به‌گاه در کپی‌کردن وجود دارد. پیامد عبور از آستانه ۱ این است که سیاره حاوی جمعیتی ناهمگون می‌شود که در آن گونه‌ها برای منابع با هم رقابت می‌کنند. منابع کمیاب بوده یا هنگامی که رقابت داغ شد، کمیاب خواهد شد. برخی از کپی‌های گونه‌ها در رقابت برای منابع کمیاب نسبتاً موفق‌تر خواهند بود. سایر کپی‌ها نسبتاً ناکام خواهند بود. بنابراین اکنون ما یک شکل ابتدایی از انتخاب طبیعی داریم.

در شروع، موفقیت بین همتاسازان رقیب کاملاً براساس ویژگی‌های مستقیم خود همتاسازان ارزیابی خواهد شد - به عنوان مثال، تا چه حد با الگو منطبق هستند. اما اکنون، پس از نسل‌های بسیار از تکامل، ما به آستانه ۲، یعنی آستانه فنوتیپ[1] می‌رسیم. همتاسازان نه تنها به واسطه ویژگی‌های خود بلکه به خاطر اثرات علّی بر چیزی دیگر، که فنوتیپ می‌نامیم، ادامه بقا می‌دهند. در سیاره ما، فنوتیپ‌ها به سادگی به عنوان اعضایی از بدن‌های حیوانات و گیاهان که ژن‌ها می‌توانند بر آنها تأثیر بگذارند، شناخته می‌شوند. که تقریباً تمام اعضای ریز و درشت بدن را شامل می‌شود. فنوتیپ‌ها را به عنوان اهرم‌های قدرت در نظر بگیرید که بوسیله آنها همتاسازانِ موفق راهیابی خود را به نسل بعدی کنترل می‌کنند. به طور کلی، فنوتیپ‌ها را می‌توان به عنوان پیامد همتاسازانی درنظر گرفت که بر موفقیت همتاسازان تأثیر می‌گذارند ولی خود همتاسازی نمی‌شوند. به عنوان مثال، یک ژن خاص در یک گونه از حلزون جزیره اقیانوس آرام تعیین می‌کند لاک حلزون به سمت چپ بپیچد یا به سمت راست. مولکول دی‌ان‌ای خود راست‌گرد یا چپ‌گرد نیست، بلکه این مسئله پیامد فنوتیپ است. لاک‌های چپ‌گرد یا راست‌گرد ممکن است به یک اندازه در ارائه محافظ بیرونی برای بدن حلزون‌ها موفق نباشند. زیرا ژن‌های حلزون در داخل لاک‌هایی که ژن‌ها بر شکل آنها تأثیر می‌گذارند حرکت می‌کنند، ژن‌هایی که باعث می‌شوند لاک‌های موفق تعدادشان از ژن‌هایی که لاک‌های ناموفق ایجاد می‌کنند، بیشتر شوند. لاک‌ها، که فنوتیپ هستند، لاک‌های دختر تولید نمی‌کنند. هر لاک بوسیله دی‌ان‌ای ساخته می‌شود و این دی‌ان‌ای است که دی‌ان‌ای تولید می‌کند.

توالی‌های دی‌ان‌ای بر فنوتیپ‌های خود (مانند جهت چرخش لاک‌ها) تأثیر می‌گذارند. این تأثیرگذاری از طریق یک زنجیره کم و بیش پیچیده از رویدادهای میانی انجام می‌شود، که تمام آن در زیر سرفصل «جنین‌شناسی» جا می‌گیرد. بر روی سیاره ما، اولین حلقه در زنجیره همواره ترکیبی از مولکول پروتئین است. هر یک از جزئیات از مولکول پروتئین از طریق کد مشهور ژنتیکی با مرتب‌کردن چهار حرف در دی‌ان‌ای دقیقاً

---

۱ phenotype

مشخص می‌شود. اما این جزئیات به احتمال زیاد تنها اهمیت محلی دارند. در مقیاس کلی‌تر، یک سیاره حاوی همتاسازانی خواهد شد که پیامدهای آنها (فنوتیپ‌ها)، با هر روش ممکن، اثرات مفیدی بر موفقیت همتاسازان در کپی‌شدن خواهند داشت. به محض اینکه حد آستانه فنوتیپ رد شود، همتاسازان به واسطه نمایندگان خود، یعنی پیامدهای‌شان بر روی جهان، بقای خود را حفظ می‌کنند. در سیاره ما، این پیامدها معمولاً به بدنی که ژن به صورت فیزیکی در آن قرار می‌گیرد، محدود هستند. اما الزاماً به این صورت نیست. دکترین فنوتیپ‌های توسعه‌یافته (من یک کتاب کامل را با همین عنوان به این موضوع اختصاص داده‌ام) بیان می‌دارد که اهرم‌های فنوتیپی قدرت که با آنها همتاسازان بقای بلندمدت خود را مهندسی می‌کنند لازم نیست به بدن «خود» همتاسازان محدود باشند. ژن‌ها می‌توانند به بیرون از بدن‌های خاصی دسترسی پیدا کرده و در ابعاد کلی بر جهان، منجمله بدن‌های دیگر تأثیر بگذارند.

من نمی‌دانم آستانه فنوتیپ تا چه حد جهانی است. حدس می‌زنم در کلیه سیاره‌هایی که انفجار حیات از یک مرحله بسیار ابتدایی گذشته است، این آستانه پشت سر گذاشته شده است. و گمان من بر این است که همین نکته درمورد آستانه بعدی فهرست من نیز صدق می‌کند. این آستانه، آستانه ۳ یا آستانه تیم همتاسازان است که ممکن است در برخی سیاره‌های قبل، یا همزمان با آستانه فنوتیپ، از آن عبور شود. در روزهای نخست، همتاسازان احتمالاً موجودیت‌هایی قادر به زیست مجزا بودند که با همتاسازان بی‌پوشش رقیب خود در سرچشمه‌های رود ژنتیکی بالا و پایین می‌رفتند. اما یک ویژگیِ سیستمِ مدرنِ فن‌آوریِ اطلاعات دی‌ان‌ای/پروتئین ما بر روی زمین این است که هیچ ژنی نمی‌تواند در آن به صورت مجزا کار کند. دنیای شیمی که در آن ژن کار خود را انجام می‌دهد، بدون کمکِ شیمی محیط خارجی نیست. این قطعاً زمینه کار را شکل می‌دهد اما این زمینه بسیار دور است. دنیای شیمیایی بلافصل و بسیار حیاتی که در آن همتاساز دی‌ان‌ای موجودیت خود را دارد کیسه‌ای بسیار کوچک‌تر و متراکم‌تر از مواد شیمیایی است. این کیسه همان سلول است. شاید کمی گمراه‌کننده باشد اگر سلول را کیسه‌ای از مواد شیمیایی بنامیم، زیرا بسیاری از سلول‌ها دارای ساختار داخلی پیچیده از غشاهای تاخورده هستند که بر روی آنها و بینشان واکنش‌های حیاتی شیمیایی در حال رخ‌دادن است. این ریزبوم شیمیایی، یعنی سلول، با گردهم‌آمدن صدها، و در سلول‌های پیشرفته، صدها هزار ژن ساخته شده است. هر ژن به این زیست‌بوم کمک کرده و در عین حال از آن برای بقای خود استفاده می‌کند. ژن‌ها به صورت تیمی کار می‌کنند. در فصل اول این مسئله را از زاویه‌ای اندکی متفاوت‌تر بررسی کردیم.

ساده‌ترین سیستم خودکار نسخه‌برداری دی‌ان‌ای در سیاره ما سلول باکتری است، باکتری برای ایجاد اجزای موردنیاز خود حداقل به چند صد ژن احتیاج دارد. سلول‌های غیرباکتری، سلول‌های «یوکاریوتی» نام دارند. سلول‌های بدن ما، حیوانات، گیاهان، قارچ‌ها و تک‌یاختگان، سلول‌های یوکاریوتی هستند. این سلول‌ها دارای ده‌ها یا صدها هزار ژن هستند که به صورت تیمی با هم کار می‌کنند. همانگونه که در فصل دوم دیدیم، اکنون به نظر می‌رسد سلول یوکاریوت حاصل کار تیمی حدود نیم‌دوجین سلول باکتریایی باشد. اما این کار

تیمی سطح بالاتری از همکاری را نشان می‌دهد و موضوع صحبت من در اینجا نیست. موضوعی که در اینجا قصد دارم در موردش بحث کنم این است که کلیه ژن‌ها کار خود را در یک محیط شیمیایی انجام می‌دهند. محیطی که ائتلافی از ژن‌ها در سلول آنرا بوجود آورده‌است.

به مجرد درک مفهوم کار تیمی ژن‌ها، به احتمال زیاد وسوسه شویم این فرض عجولانه را پیش بکشیم که امروزه انتخاب داروینی گزینش خود را از میان تیم‌های ژن رقیب انجام می‌دهد - با این فرض که انتخاب به سطوح بالاتری از سازمان‌دهی ارتقاء یافته باشد. وسوسه‌انگیز است، اما از نظر من اساساً فرض نادرستی است. شاید بیان این نکته که انتخاب داروینی همچنان از بین ژن‌های رقیب انتخاب خود را انجام می‌دهد بسیار جذاب‌تر باشد، اما ژن‌هایی که انتخاب طبیعی آنها را می‌پسندد آنهایی هستند که در حضور *ژن‌های* دیگر موفق‌ترند. یعنی ژن‌هایی که انتخاب طبیعی همزمان آنها را در حضور ژن‌های دیگر می‌پسندد. در فصل اول، این نکته را مطرح کردم، در آنجا دیدیم که ژن‌هایی که در یک شاخه واحد از رود دیجیتال هستند اغلب به «همراهان خوب» همدیگر تبدیل می‌شوند.

شاید آستانه مهم بعدی که با شتاب‌گرفتن بمب همتاسازی در سیاره‌مان، باید از آن عبور نمود، آستانه چندسلولی است که من آنرا آستانه ۴ می‌نامم. همانگونه که مشاهده کردیم، هر یک از سلول‌های حیات ما دریاچه‌ای از مواد شیمیایی است که در آن تیمی از ژن‌ها شنا می‌کنند. با اینکه تمام اعضای تیم داخل این دریاچه هستند، با اینحال دریاچه توسط زیرمجموعه‌ای از تیم ساخته می‌شود. خود سلول‌ها بوسیله دونیمه‌شدن تکثیر می‌شوند و هر نیمه دوباره به اندازه سلول اصلی بزرگ می‌شود. هنگامی که این اتفاق رخ می‌دهد، کلیه اعضای تیم ژن‌ها تکثیر می‌شوند. اگر سلول‌های جدید به طور کامل از هم جدا نشوند و متصل به هم باقی بمانند، ساختار بزرگی شکل می‌گیرد که سلول‌ها حکم آجرهای آن را پیدا می‌کنند. توانایی ایجاد ساختارهای چندسلولی هم برای دنیای ما مهم است و هم برای سایر جهان‌ها. هنگامی که آستانه چندسلولی رد شود، فنوتیپ‌هایی می‌توانند ایجاد شوند که شکل و عملکرد آنها تنها براساس مقیاسی بسیار عظیم‌تر از مقیاس تک سلولی قابل‌درک است. یک شاخ یا یک برگ، عدسی چشم یا صدف حلزون همه و همه با کنار هم قرار گرفتن سلول‌ها شکل می‌گیرند. اما سلول‌ها نسخه مینیاتوری آن عضو بزرگ نیستند. به عبارت دیگر، اندام‌های چندسلولی شبیه به کریستال‌ها رشد نمی‌کنند. دست کم در سیاره ما، اندام‌ها مانند ساختمان‌ها بزرگ می‌شوند و خود ساختمان‌ها در واقع شکل بزرگ‌شده یک آجر نیستند. دست، شکل خاص خود را دارد اما از سلول‌های دست‌مانند ساخته نشده است. اگر فنوتیپ‌ها مانند کریستال‌ها بزرگ می‌شدند، این حالت قابل‌تصور بود. باز هم مانند ساختمان‌ها، اندام‌های چندسلولی اشکال و ابعاد خاص خود را به این خاطر بدست می‌آورند که لایه‌های سلول (آجرها) از قوانینی در مورد اینکه چه زمانی رشد را متوقف کنند، تبعیت می‌کنند. همچنین سلول‌ها باید به شکلی بدانند به نسبت سایر سلول‌ها در کجا باید قرار گیرند. سلول‌های کبد به گونه‌ای رفتار می‌کنند که گویی می‌دانند آنها سلول‌های کبد هستند و علاوه براین می‌دانند بر روی لبه قرار دارند یا در وسط. اینکه چگونه از عهده این کار برمی‌آیند، موضوع سوال دشواری است که مطالعات فراوانی روی آن انجام شده است. پاسخ‌ها به

احتمال زیاد به سیاره ما محدود می‌شوند و در اینجا بیشتر از این به آنها نخواهم پراخت. پیشتر در فصل اول به اختصار آنها را موردبررسی قرار دادم. صرفنظر از جزئیات، این روش‌ها توسط همان فرآیند کلی و مانند تمام موارد دیگر پیشرفت در حیات، به کمال رسیده‌اند، یعنی بقای غیرتصادفی ژن‌های موفق براساس تأثیر آنها - در این مورد خاص، تأثیر بر رفتار سلول با سلول‌های مجاور.

آستانه مهم بعدی که مایل هستم بررسی کنم آستانه پردازش سریع اطلاعات است، زیرا تصور می‌کنم این هم احتمالاً اهمیتی بالاتر از اهمیت سیاره‌ای محلی دارد. در سیاره ما، این آستانه پنجم بوسیله کلاس ویژه‌ای از سلول‌ها به نام نرون‌ها، یا سلول‌های عصبی، بدست می‌آید، و در سطح محلی، ما آنرا آستانه دستگاه عصبی می‌نامیم. رسیدن به این آستانه در یک سیاره به هر شیوه‌ای اهمیت دارد، زیرا اکنون می‌توان در مقیاس زمانی بسیار سریعتر از آنچه ژن‌ها به مدد اهرم‌های شیمیایی قدرت خود می‌توانند مستقیماً به آن دست یابند، وارد عمل شد. حیوانات شکارچی با استفاده از عضلات و دستگاه عصبی خود می‌توانند برای گرفتن غذا بپرند و شکارها می‌توانند برای نجات جان خود فرار کنند. این دستگاه عصبی با سرعتی بسیار بالاتر از سرعت ساخت اعضای جنینی که در آن ژن‌ها قطعات دستگاه عصبی را در وهله نخست به هم وصل کردند، عمل و عکس‌العمل نشان می‌دهد. سرعت و زمان مطلق واکنش ممکن است در سیارات دیگر بسیار متفاوت باشد. اما در هر سیاره‌ای، هنگامی که دستگاه‌های ساخته‌شده توسط همتاسازان شروع به اکتساب زمان واکنشی بسیار سریع‌تر از طرح جنینی خود می‌کنند، یک آستانه مهم دیگر پشت سر گذاشته می‌شود. اینکه این ابزارها ضرورتاً با اجزایی که ما در سیاره خودمان نرون و سلول عضلانی می‌نامیم، شباهت خواهند داشت، چندان قطعی نیست. اما در سیاره‌هایی که از چیزی معادل آستانه دستگاه عصبی عبور می‌شود، احتمالاً پیامدهای مهم بعدی وجود دارد و بمب همتاسازی به سفر خود به بیرون از سیاره ادامه خواهد داد.

یکی از این پیامدها ممکن است تجمع واحدهای پردازش داده یعنی «مغز» باشد که توانایی پردازش الگوهای پیچیده داده‌های دریافت‌شده بوسیله «اندام‌های حسی» و ذخیره کردن آنها در «حافظه» را داراست. یک پیامد ظریف و رمزآلود عبور از آستانه نرون‌ها، هوشیاری آگاهانه است، که من آنرا آستانه ۶ یا آستانه آگاهی می‌نامم. اطلاعی نداریم این آستانه چند وقت یک بار در سیاره ما بدست آمده است. برخی فلاسفه معتقدند این آگاهی اساساً با زبان پیوند ناگسستنی دارد، که به نظر می‌رسد تنها یک بار یک گونه بزرگ از میمون دوپا یعنی *هوموساپیانس*، به آن دست یافته است. در هر صورت، آگاهی چه نیازمند زبان باشد و چه نباشد، اجازه دهید آستانه زبان را به عنوان یک آستانه اصلی، یعنی آستانه ۷، بپذیریم. آستانه‌ای که ممکن است در یک سیاره از آن عبور شود یا نشود. جزئیات زبان، مانند اینکه از طریق صدا یا یک رسانه فیزیکی دیگر منتقل می‌شود، باید به اهمیتی که در سطح محلی دارد، واگذار شود.

از این دیدگاه، زبان یک سیستم شبکه‌ای است که مغز (نامی که در سیاره ما بر آن نهاده‌اند) از طریق آن اطلاعات را با تبحر کافی ردوبدل می‌کند تا امکان توسعه یک فن‌آوری جمعی[۱] میسر شود. فن‌آوری جمعی، که با توسعه مقلدانه ابزار سنگی آغاز و با دوران ذوب فلزات، خودروهای چرخ‌دار، نیروی بخار ادامه یافته و اکنون به الکترونیک رسیده است، به نوبه خود دارای ویژگی‌های فراوانی از یک انفجار است، و در نتیجه شروع آن خود سزاوار عنوان «آستانه فن‌آوری جمعی»، یا آستانه ۸ است. قطعاً، فرهنگ انسانی نیز یک بمب همتاسازی کاملاً جدید را با نوع جدیدی از موجودیت خودهمتاساز ترویج داده است. من این بمب همتاسازی جدید را در کتاب *ژن خودخواه*، «میم»[۲] (الگوی فرهنگی) نامیده‌ام، میم نیز مانند ژن خود را در یک رود فرهنگی تکثیر و «داروینی‌سازی» می‌کند. ممکن است اکنون همزمان با بمب ژنی که پیشتر شرایط مغزی/فرهنگی را آماده کرده و انفجار را میسر نموده است، یک بمب میمی در شرف انفجار باشد. اما متأسفانه به دلیل گستردگی این موضوع هم در این فصل نمی‌گنجد. باید به موضوع اصلی انفجار سیاره‌ای بازگردم، و این نکته را بیان کنم که، به محض دستیابی به مرحله فن‌آوری جمعی، کاملاً محتمل خواهد بود در جایی در امتداد مسیر، توان ایجاد اثری در خارج از سیارهٔ موطن به دست آید. از آستانه ۹، یعنی آستانه رادیو، عبور کرده‌ایم و اکنون ناظران خارج از سیاره ما قادرند بفهمند به تازگی منظومه‌ای ستاره‌ای به صورت یک بمب همتاسازی منفجر شده است.

نخستین چیزی که ناظران خارج از سیاره متوجه آن خواهند شد، همانگونه که دیدیم، احتمالاً امواج رادیویی است که به عنوان محصول جانبی ارتباطات داخل سیاره مبداء، به بیرون درز پیدا می‌کند. بعدها، وارثان فن‌آورانه بمب همتاسازی ممکن است آگاهانه توجه خود را به سمت ستارگان معطوف دارند. نخستین قدم‌های متزلزل ما در آن جهت، ارسال پیام‌هایی خاص برای موجودات هوشمند فضایی بوده است. چگونه می‌توان برای موجودات هوشمندی که هیچ تصوری درمورد ماهیت آنها نداریم، پیامی را تهیه و ارسال کرد؟ مطمئناً کار ساده‌ای نیست، و به احتمال زیاد تلاش‌های ما اشتباه برداشت شود.

بیشتر تلاش ما به این معطوف بوده است که در وهله نخست به جای ارسال پیامی با محتوای حجیم و ثقیل، ناظران بیگانه را صرفاً متقاعد سازیم که ما اصلاً وجود داریم. این وظیفه همان وظیفه‌ای است که پروفسور فرضی ما یعنی، کریکسون، در فصل اول با آن مواجه بود. او اعداد اول را به کد دی‌ان‌ای ترجمه کرد. یک تدبیر مشابه در استفاده از امواج رادیویی، شیوه‌ای منطقی برای نشان‌دادن حضور ما به سایر جهان خواهد بود. موسیقی ممکن است تبلیغی بهتر برای گونه‌ی ما به نظر برسد، و حتی اگر مخاطبین فاقد گوش هم باشند ممکن است به شیوه مخصوص خود از آن لذت ببرند. دانشمند و نویسنده مشهور، *لوئیس توماس*[۳]، پیشنهاد داد موسیقی باخ و فقط باخ و نه چیز دیگری را پخش کنیم. البته از این نگران بود این موسیقی از شدن زیبایی نوعی لاف‌زنی تلقی

---

۱ technology cooperative

۲ meme

۳ Thomas Lewis

شود. با اینحال، موسیقی هم ممکن است در ذهن یک موجود بیگانه، با تابش‌های ریتمیک یک اختر تپنده اشتباه گرفته شود. اختر تپنده یا پالسار[1] ستاره‌ای است که پالس‌های امواج رادیویی موزونی را در فواصل چندثانیه‌ای یا کمتر از خود منتشر می‌کند. هنگامی که گروهی از اخترشناسان رادیویی کمبریج برای نخستین بار این امواج را در سال ۱۹۶۷ کشف کردند، موقتاً هیجان فراوانی در بین مردم ایجاد شد زیرا فکر می‌کردند این امواج ممکن است در اصل پیام‌هایی از فضا باشند. اما به زودی پی‌بردند که توضیح موجزتر این است که یک ستاره کوچک در حال چرخش با سرعت بسیار بالا مانند یک فانوس دریایی از خود امواج رادیویی ساطع می‌نماید. تا این تاریخ، هیچ ارتباط موثقی از خارج سیاره ما دریافت نشده است.

پس از امواج رادیویی، تنها مرحله دیگر که در گسترش انفجار خود به سمت بیرون از سیاره می‌توانیم متصور شویم، سفر فیزیکی در فضا است: آستانه ۱۰، آستانه مسافرت فضایی است. نویسندگان داستان‌های علمی تخیلی همواره رویای تکثیر میان-ستاره‌ای کلنی‌های دختر انسان یا مخلوقات رباتیک او را داشته‌اند. این کلنی‌های دختر را می‌توان بذر، یا عامل سرایت، بسته‌های جدید اطلاعات خودهمتاسازی به شمار آورد. بسته‌هایی که متعاقباً می‌توانند در بمب‌های خودهمتاساز ماهواره‌ای مجدداً به صورت انفجاری به بیرون گسترش پیدا کرده، ژن‌ها و میم‌ها، هر دو را انتشار دهند. اگر این چشم‌انداز روزی به حقیقت بپیوندد، شاید چندان هم حرمت‌شکنانه نباشد اگر تصور کنیم *کریستوفر مارلو*[2] (شاعر معروف انگلیسی) با نگاه به رود دیجیتال، شعرش را درمورد خون حضرت مسیح (بنگر، بنگر خون مسیح را که در افلاک جاری‌ست!)، اینگونه تغییر دهد: «بنگر، بنگر، رود حیات را که در افلاک جاری‌ست!»

هنوز نخستین گام را به خارج از سیاره برنداشته‌ایم. به ماه سفر کردیم، که دستاوردی است باشکوه، لیکن نه آن حد دور که از دید فضاییان، که روزی سرانجام به حشر و نشر با ایشان خواهیم نشست، بتوان آن را سفر نامید. ما تعداد انگشت‌شماری فضاپیمای بی‌سرنشین به فضا فرستاده‌ایم، در مسیرهایی که هیچ پایانی برای آنها قابل‌تصور نیست. یکی از این فضاپیماها که الهام‌بخش آن، ستاره‌شناس بلندپرواز آمریکا، *کارل سِیگِن*[3]، است حامل پیامی رمزی برای موجودات هوشمند فضایی است که ممکن است با آنها برخورد کند. این پیام همراه با تصویری از همان گونه جانوری است که پیام را نوشته است یعنی تصویری از یک مرد و زن برهنه.

این ممکن است اسطوره نیاکان ادیان ابراهیمی که در ابتدای کتاب به آن اشاره کردیم را به ذهن متبادر کند. اما این زوج آدم و حوا نیستند، و پیامی که در زیر تصویر زیبای آنها بر روی پلاک حک شده است نسبت به داستان مذهبی پیدایش، توضیح معقول‌تری درمورد انفجار حیات ما ارائه می‌دهد. روی این پلاک با

---

۱ ulsarsp

۲ Marlowe Christopher

۳ Sagan Carl

کمک زبانی تصویری و کاملاً قابل‌فهم، پیدایش این گونه روی سومین سیاره از ستاره‌ای که مشخصات آن در کهکشان به دقت ثبت شده، نشان داده شده است. ثبت نمادین اصول بنیادی شیمی و ریاضی بر روی پلاک، شاهدی بیشتر دال بر دانش ماست. اگر این پیام زمانی به دست موجودات هوشمند برسد، چیزی بیش از خرافات قبیله‌ای بدوی را به تمدنی که آن پیام را نوشته است نسبت خواهند داد. در آن سمت از فضا، آنها متوجه خواهند شد که در گذشته‌های دور، یک انفجار حیات دیگر به ایجاد تمدنی منجر شده که ارزش ارتباط برقرار کردن را داشته است.

دریغا که شانس عبور این فضاپیما از فاصله یک پارسکی[۱] (۳/۲۶ سال نوری) از یک بمب همتاساز دیگر به شکل ناامیدکننده‌ای ضعیف است. بعضی مفسران ارزش این پیام را به عنوان یک پیام الهام‌بخش برای خود انسان‌های زمین می‌دانند. تندیسی از یک مرد و زن برهنه که دستان خود را به نشانه صلح بالا برده‌اند، تندیسی که عامداناً در سفری ابدی به عنوان نخستین میوه دانش انفجار حیات ما به میان ستارگان گسیل داده شده است. بی‌شک تفکر و تعمق در باب این مسئله ممکن است اثراتی سودمند بر خودآگاهی معمولاً کوته‌اندیش و محدود ما داشته باشد؛ به همان سان پژواکِ تأثیرِ شاعران‌ی تندیس نیوتن در *ترینیتی کالج*[۲] کمبریج را بر ذهن به راستی باشکوه شاعر انگلیسی، *ویلیام وردس‌ورث*[۳]، می‌توان دید:

> و سر بر بالین نهاده، بیرون را می‌نگرم. روشن به نور مهتاب یا اختران پرنور، در جلوی کلیسا، تندیس نیوتن منشور به دست ایستاده، با آن چهرهٔ خاموش، آن نمودِ مرمرینِ ذهنی که تا ابد، یکه و تنها، مسافر بحر شگفت‌انگیز تفکر است.

---

۱ parsec

۲ College Trinity

۳ Wordsworth William

کتابشناسی و منابع بیشتر

به جز چند مورد، این فهرست را تنها به کتاب‌هایی محدود کرده‌ام که به آسانی قابل‌تهیه هستند و از آوردن کتاب‌های فنی که آنها را تنها می‌توان از کتابخانه‌های دانشگاهی تهیه کرد، خودداری کرده‌ام.

بودمر، والتر و رابین مک‌کی، *کتاب انسان: پروژه ژنوم انسانی و جستجو برای کشف میراث ژنتیکی‌مان* (نیویورک: Scribners، ۱۹۹۵).

بانر، جان تایلر، *چرخه‌های حیات: تأملات یک زیست‌شناس تکاملی* (پرینستون: Princeton University Press، ۱۹۹۳).

کین، آرتور، جی.، *گونه‌های جانوری و تکامل آنها* (نیویورک: Harper Torchbooks، ۱۹۶۰).

کرنز-اسمیت، ای. گراهام، *هفت سرنخ آغاز حیات* (کمبریج: Cambridge University Press، ۱۹۸۵).

چرفاس، جرمی، و جان گریبین، *مذکر زائد: آیا جنسیت در جهان مدرن موضوعیت دارد؟* (نیویورک: Pantheon، ۱۹۸۴).

کلارک، آرتور سی.، *نمایی از آینده: جستاری در باب محدودیت‌های امور ممکن* (نیویورک: Holt, Rinehart & Winston، ۱۹۸۴).

کریک، فرانسیس، *پیگیری دیوانه‌وار: دیدگاهی شخصی در باب کشف علمی* (نیویورک: Basic Books، ۱۹۸۸).

کرانین، هلنا، *مورچه و طاووس: هم‌نوع‌دوستی و انتخاب جنسی از داروین تا امروز* (نیویورک: Cambridge University Press، ۱۹۹۱).

داروین، چارلز، *خاستگاه گونه‌ها* (نیویورک: Penguin، ۱۹۸۵).

تمهیدات گوناگونی که از طریق آنها گل‌های ارکیده بوسیله حشرات بارور می‌شوند (لندن: John Murray، ۱۸۸۲).

داوکیز، ریچارد، *فنوتیپ توسعه‌یافته* (نیویورک: Oxford University Press، ۱۹۸۹).

ساعت‌ساز نابینا (نیویورک: W.W. Norton. ۱۹۸۶).

ژن خودخواه ویرایش جدید (نیویورک: Oxford University Press، ۱۹۸۹).

دنت، دانیل سی.، *ایده‌های خطرناک داروین* (نیویورک: Simon & Schuster، ۱۹۹۵).

درکسلر، کی. اریک *موتورهای خلقت* گاردن سیتی، نیویورک: Anchor Press/Doubleday، ۱۹۸۶).

دورانت، جان آر. ویراستار *خاستگاه‌های انسان* (آکسفورد: Oxford University Press، ۱۹۸۹).

فابر، ژان هنری، *حشرات*، دیوید بلک، ویراستار، (نیویورک: Scribners، ۱۹۷۹).

فیشر، رونالد ای.، *نظریه ژنتیکی انتخاب طبیعی*، ویرایش دوم (نیویورک: Dover. ۱۹۵۸).
فریش، کارن فان، *زبان رقص و جهت‌یابی زنبورهای عسل*، لی ایی. چادویک، ترجمه (کمبریج: Harvard University Press، ۱۹۶۷).
گولد، جیمز ال.، و کارول جی. گولد، *زنبور عسل* (نیویورک: Scientific American Library. ۱۹۸۸).
گولد، استیفن جی.، *حیات شگفت‌انگیز: Burgess Shale و تاریخ طبیعی* (نیویورک: W.W. Norton، ۱۹۸۹).
گریبین، جان و جرمی چفراس، *معمای میمون: بازسازی درخت تکامل* (نیویورک: Pantheon، ۱۹۸۲).
هین، پیت، جنس اروپ، *Crooks* (گاردن سیتی. نیویورک: Doubleday، ۱۹۶۹).
هیپل، آرندت فان، *زیست‌شناسی تکاملی انسان* (انکریج: Stone Age Press، ۱۹۹۴).
همفری، نیکولاس کی.، *خودآگاهی بازیافته* (آکسفورد: Oxford University Press. ۱۹۸۳).
جونز، استیو، رابرت مارتین و دیوید پیلبیم، ویراستاران، *دایره‌العارف تکامل انسان کمبریج* (نیویورک: Cambridge University Press. ۱۹۹۲).
کینگدون، جاناتان، *انسان خودساخته: تکامل انسان از عدن تا انقراض؟* (نیویورک: Wiley، ۱۹۹۳).
مک‌دونالد، کن سی.، و بروس پی. لویندیک، «رأس‌الخط خیز شرقی اقیانوس آرام،» *Scientific American*، ماه می ۱۹۸۱، ص. ۱۱۶-۱۰۰.
منینگ، اوبری، و ماریان اس. داوکینز، *مقدمه‌ای بر رفتار جانوری*، ویرایش چهارم (نیویورک:: Cambridge University Press، ۱۹۹۲).
مارگولیس، لین و دوریون سیگِن، *ریزبوم: چهار میلیارد سال تکامل میکروبی* (نیویورک: Simon & Schuster. ۱۹۸۶).
می‌نارد اسمیت، جان، *نظریه تکامل* (کامبریج: Cambridge University Press، ۱۹۹۳).
می‌یوس، باستیان، و شان موریس، *زندگی جنسی گیاهان* (لندن: Faber & Faber، ۱۹۸۴).
مونو، ژاک، *تصادف و ضرورت: مقاله‌ای در باب فلسفه طبیعی زیست‌شناسی مدرن*، ترجمه آسترین واین‌هاوس. (نیویورک: Knopf، ۱۹۷۱).
نس، رندولف، و جورج سی. ویلیامز، *چرا مریض می‌شویم: نظریه جدید پزشکی داروینی* (نیویورک: Random House، ۱۹۹۵).
نیلسون، دنیل ای. و سوزان پلگر، «برآورد بدبینانه زمان موردنیاز برای تکامل یک چشم،» *مجموعه مقالات انجمن سلطنتی لندن، B* (۱۹۹۴).
اوون، دنیس، *استتار و تقلید* (شیکاگو: University of Chicago Press، ۱۹۸۲).
پینکر. استیون، *غریزه زبان: علوم جدید زبان و ذهن* (نیویورک: Morrow. ۱۹۹۴).
ریدلی، مارک، *تکامل* (بوستون: Blackwell Scientific. ۱۹۹۳).
ریدلی، مت، *ملکه قرمز: جنسیت و تکامل طبیعت انسان* (نیویورک: Macmillan، ۱۹۹۴).

سیگِن، کارل، جهان (نیویورک: ۱۹۸۰، Random House).
و ان درویان، *سایه نیاکان فراموش‌شده* (نیویورک: ۱۹۹۲، Random House).
تینبرخن، نیکو، *دنیای مرغ نوروزی شمالی* (نیویورک: ۱۹۶۰، Harper & Row).
طبیعت‌شناسان کنجکاو (لندن: ۱۹۷۴، Penguin).
تریورس، رابرت، *تکامل اجتماعی* (منلو پارک، کالیفرنیا: ۱۹۸۵،BenjaminCummings).
واتسون، جیمز دی.، *مارپیچ دوگانه: روایت شخصی کشف ساختار دی‌ان‌ای* (نیویورک: ۱۹۶۸، Athenewn).
وینر، جاناتان، *منقار فنچ: داستان تکامل زمان ما* (نیویورک: ۱۹۹۴، Knopf).
ویکلر. ولفگانگ، *تقلید در گیاهان و حیوانات*، آر. دی. مارتین، ترجمه (نیویورک: ۱۹۶۸، McGraw-Hill).
ویلیامز، جورج سی.، *انتخاب طبیعی: دامنه‌ها، سطوح و چالش‌ها* (نیویورک: Oxford University Press، ۱۹۹۲).
ویلسون، ادوارد او.، *تنوع حیات* (کمبریج: ۱۹۹۲، Harvard University Press).
ولپرت، لوییس، *پیروزی جنین* (نیویورک: ۱۹۹۲، Oxford University Press).