

رودخانه ای جاری از سرزمین عدن



نویسنده: ریچارد داو کینز

بازگردان: محمدرضا توکلی صابری



رودخانه ای جاری

از سرزمین عدن

نویسنده: ریچارد داوکینز

بازگردان: محمدرضا توکلی صابری



نشر آوای بوف

© AVAYE BUF - 2026

ISBN: GGKEY:SCDXYCSCZTL

سرشناسه	: رودخانه ای جاری از سرزمین عدن
عنوان و نام پدید آورنده	: رودخانه ای جاری از سرزمین عدن / [کتاب] / مولف ریچارد داو کینز ؛ بازگردان: محمدرضا توکلی صابری ؛ تهیه و تنظیم: قاسم قره داغی
مشخصات نشر	: دانمارک: نشر آوای بوف ۱۴۰۵،
امور فنی و انتشار	: قاسم قره داغی
مشخصات ظاهری	: ۲۱۵ ص:؛ ۲۱×۵/۱۴ س.م.
شابک	: نشر اینترنتی: GGKEY:SCDXYCSCZTL
موضوع	: داستان / متن فارسی
	DK5
شماره کتابشناسی ملی	: GGKEY:SCDXYCSCZTL

رودخانه ای جاری از سرزمین عدن

- نویسنده: ریچارد داو کینز
- بازگردان: محمدرضا توکلی صابری
- چاپ اول: ۱۴۰۵
- تیراژ: نشر اینترنتی
- ناشر: انتشارات آوای بوف - دانمارک
- شابک: GGKEY:SCDXYCSCZTL
- قیمت: رایگان
- قطع: PDF + EPUB

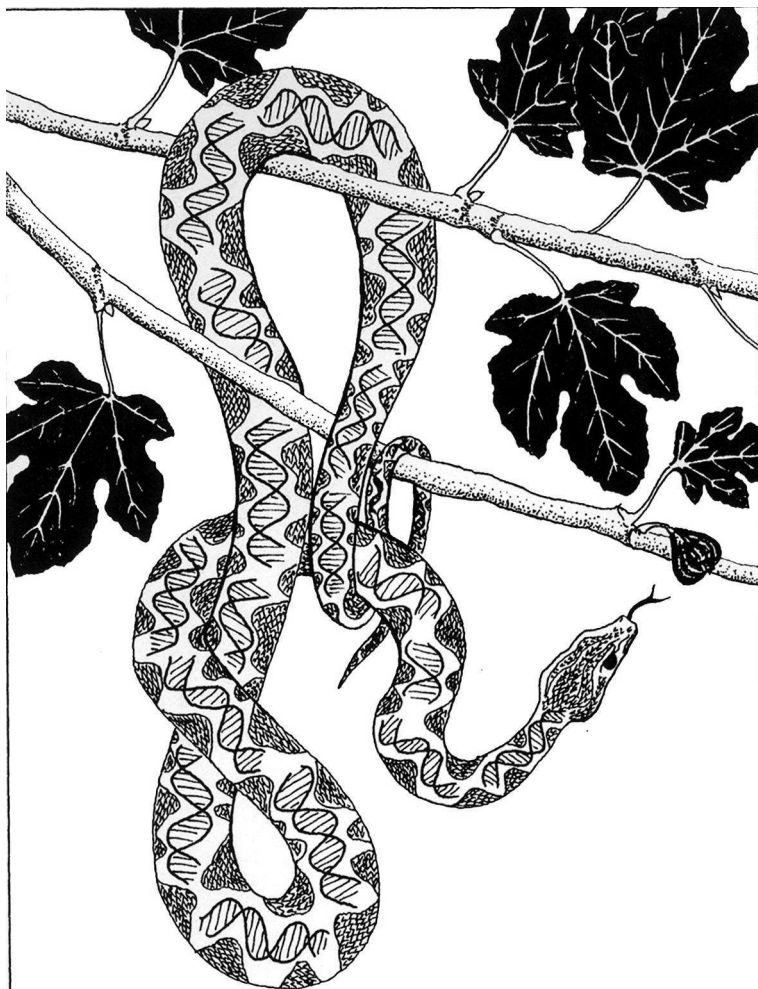
جهت هماهنگی برای استفاده به هر شکل و نحو(تکثیر، انتشار و ترجمه و هرگونه استفاده‌ی دیگر) لطفا به ایمیل زیر پیام ارسال کنید:

AVAYE.BUF@gmail.com

لینک دسترسی آنلاین به کتاب: www.AVAYEBUF.COM

فهرست مطالب

۷	مقدمه
۱۱	پیش‌گفتار
۱۵	فصل ۱- رودخانه دیجیتال
۴۹	فصل ۲- همه آفریقا و فرزندان آن
۸۳	فصل ۳- در نهان نیکویی می‌کن
۱۲۵	فصل ۴- کارکرد تسهیلاتی خداوندگار
۱۷۱	فصل ۵- بمب همتاسازی
۲۰۵	کتابنامه
۲۰۹	نمایه



مقدمه

برگ درختان سبز، مرد خردمند را
حیرت و مستی دهد، کم تو مگیر این دو را
حیرت اگر دست دهد، مستی ناب آورد
کی شود گیرم به دست، جامی پر از هر دو را
تیغه برگ را نگر، تیغ به دل می زند
دل که چنین رفت ز دست، عقل رها کرد مرا
هر دو چو دادم ز دست، واله و شیدا شدم
دیده نو بایدم، چاره نباشد مرا

این کتاب درباره تغییر و دگرگونی در طبیعت و ایجاد پیچیدگی های زیبا و شگفت در عرصه طبیعت است. طبیعتی که با نگاهی سطحی به چشمان ما بی قانون و پرهرج و مرج می نماید، اما با کمی ژرف نگری قوانین جدی و هماهنگ آن آشکار می شوند. در طبیعت قانون جنگل حکمفرما نیست، هزاران قانون ریز و درشت بر آن حاکم است که نمی تواند از آن ها سرپیچی کند. قوانین پیچیده و ظریفی که حرکت هر مولکول و هر ذره جاندار و بی جان را تعیین می کند. قوانینی که بر هم تناسازی مولکوی

دی.ان.ای و پیچش پروتئین‌ها و کاربرد آن‌ها در غشاهای سلولی حاکم است. طبیعت خشن و وحشی نیست، بلکه می‌گذارد بازیگران صحنه به آزادی نقش خودشان را بازی کنند، وگرنه کار طبیعت پیش نمی‌رود. طبیعت ناقص و کور نیست و قوانینی در آن جاری است که کارشان بهینه‌سازی منافع برای هر موجود زنده است. بین همه جانداران در زنجیره هستی پیوند برقرار است؛ اگر پروانه‌ای در بیشه‌زاری پریر زند، زنجیره به هم پیوسته فرایندها ممکن است در کوهستان‌ها طوفانی برپا کنند.

در این کتاب، می‌خوانیم که دی.ان.ای این زیباترین مولکول جهان هستی و این کامپیوتر ژنتیکی چگونه طی نسل‌ها تغییر می‌یابد و چگونه اطلاعات شخصی هر اندامگان را در حافظه خود نگه می‌دارد. این رودخانه همیشه جاری است و انشعاب می‌یابد و شاخه و جویبارهای فراوانی پدید می‌آورد که هرکدام گروه ویژه‌ای از جانداران را تشکیل می‌دهد. پیچیدگی این فرآیند، و این‌که چگونه به فهم آن رسیده‌ایم، خود یکی از زیباترین داستان‌های تاریخ دانشورزی به شمار می‌آید.

به این امر مهم هم پی می‌بریم که همه بشریت، چه سرخ و زرد و سفید و سیاه از یک مادر زاده‌اند. حوایی که در آفریقا ساکن بوده است.

دانشوران^۱ به اعتبار کشف‌های علمی‌شان، شهرت و اعتبار می‌یابند، نه به خاطر عقاید و آرای مذهبی، فلسفی، سیاسی، و اعتقادی‌شان. بسیاری از دانشوران با این‌که با پژوهش‌ها و آرای خویش رازهای طبیعت را گشوده‌اند و مرزهای دانش را جلوتر بردند، اما عقاید و باورهای نادرست، کوته‌بینانه، نژادپرستانه، و ابلهانه داشته‌اند. ما به خاطر

1. Scientists

این رمزگشایی از طبیعت و گشودن دریچه‌های دانشورزی به آن‌ها حرمت می‌گذاریم. ایساک نیوتون قسمت اعظم وقت خود را به کیمیاگری و تفسیر انجیل می‌گذراند و در این موارد باورهای خرافی داشت، و ویلیام شاکلی^۱ برنده جایزه نوبل به خاطر پژوهش‌هایش در حوزه نیمرساناها و اختراع ترانزیستور، فکر می‌کرد شرایط عقب‌مانده فرهنگی و اجتماعی سیاهپوستان آمریکا ناشی از نقص ژنتیکی و وراثت آن‌هاست، نه شرایط استثمار چندین قرنی که بر آن‌ها تحمیل شده است. آرای فلسفی ریچارد داوکینز، زیست‌شناس و استاد دانشگاه اکسفورد در خارج از رشته زیست‌شناسی نیز از این قاعده مستثنی نیست. ریچارد داوکینگز در مقام یک فلسفه‌دان دلایل و توضیحات فلسفی خود را ابراز می‌دارد و ما به آن‌ها کاری نداریم. آنچه ما را به خواندن این کتاب فرا می‌خواند، شرح فرایند و قوانین شگفت طبیعت است که آدمی جزئی از آن به‌شمار می‌آید.

محمد رضا توکلی صابری

1. William Bradford Shockley

پیش‌گفتار

به‌نظر می‌رسد، طبیعت نام‌همگانی و رایج میلیاردها و میلیاردها و میلیاردها ذره‌ای است که آن‌ها بیلاردها و بیلاردها و بیلاردها نقش نامتناهی و خاص خود را بازی می‌کنند.

پیت هین^۱

این شعر پیت‌هین دنیای فیزیک را، که به‌طور سنتی ست‌نخورده و دست‌نیافتنی بود، فتح کرد. اما وقتی که برخورد بیلاردها اتم این امکان را فراهم می‌آورد تا ماده‌ای را سرهم کنند که از برخی خواص به‌ظاهر بی‌اثر برخوردار است، اتفاقی سرنوشت‌ساز در جهان هستی رخ می‌دهد. آن خاصیت، عبارت است از توانایی خودهم‌تاسازی. یعنی، آن ماده قادر است مواد اطرفش را به‌کارگیرد تا رونوشت‌های دقیقی از خودش بسازد، از جمله، نمونه‌هایی از نقائص جزیی در رونوشت‌برداری که گه‌گاه ممکن است پیش‌آید. آنچه از این واقعه منحصربه‌فرد، در هرجای جهان هستی، حاصل می‌شود، یک انتخاب داروینی، و بنابراین یک برنامه‌سرگرم‌کننده

۱. ریاضیدان، مخترع، طراح، نویسنده و شاعر دانمارکی (۱۹۰۵ - ۱۹۶۶)

فاخر و آکنده از تقارن است که در این سیاره، آن را حیات می‌نامیم. هیچ‌گاه این همه حقایق در قالب این تعداد کم از فرض‌ها توضیح داده نشده است. نه تنها نظریه داروینی نیروی فوق‌العاده فراوانی برای توضیح در اختیار دارد، صرفه‌جویی آن در انجام چنین کاری ظرافتی ریشه‌دار و زیبایی شاعرانه‌ای دارد که حتی برگیرترین اسطوره‌های مربوط به پیدایش جهان برتری می‌جوید. یکی از هدف‌های من از نوشتن این کتاب تقدیر مقتضی از کیفیت الهام‌بخش فهم جدید ما از حیات با تلقی داروینی است. حوای میتوکندریایی شاعرانه‌تر است از حوای اسطوره‌ای.

جنبه‌های حیات، که به تعبیر دیوید هیوم «همه کسانی را که تاکنون به آن اندیشیده‌اند، به تحسین و می‌دارد»، جزئیات پیچیده‌ای است که با آن سازوکارها – سازوکارهایی که چارلز داروین آن را «اندام‌هایی در نهایت کمال و پیچیدگی» می‌نامید – یک نیت آشکار را برآورده می‌کند. سایر جنبه‌های این حیات زمینی که ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تنوع پربار و انبوه آن است؛ آن‌طور که با برآورد تعداد گونه‌ها اندازه‌گیری می‌شود، در حدود ده‌ها میلیون راه‌های گوناگون برای ادامه حیات وجود دارد. مقصود دیگر من این است که خوانندگان خود را قانع کنم که «راه‌های گوناگون ادامه حیات» با راه‌های انتقال دادن متن‌های حاوی «رمز دی.ان.ای به آینده مترادف است». «رودخانه من»، رودخانه‌ای از دی.ان.ای است که در زمان زمین‌شناختی جاری می‌شود و انشعاب می‌یابد، و ظاهراً تمثیل سواحل شیب‌دار که بازی‌های ژنتیک هر گونه‌ای را محدود می‌کند، ابزار توضیح‌دهنده بسیار نیرومند و مفیدی به شمار می‌آید.

همه کتاب‌های من، کم‌وبیش، به توضیح و کشف نیروی تقریباً بی‌پایان اصل داروینی اختصاص یافته است – نیرویی که هرگاه و هرکجا که زمان

کافی برای آشکار شدن پیامدهای خود – همتاسازی ابتدایی در دسترس قرار گیرد، خود را رها می‌کند. رودخانه‌ای جاری از عدن به ابلاغ این پیام ادامه می‌دهد و داستان پیامدهایی را به اوج فرازمینی می‌رساند که می‌تواند به دنبال آن بیاید، به هنگامی که پدیده همتاسازان به بازی فروتنانه پیشین بیلارهای اتمی وارد می‌شود.

به هنگام نوشتن این کتاب، از پشتیبانی، تشویق، راهنمایی و انتقاد سازنده مایکل برکت، جان براکمن، استیو دیویس، دانیل دنت، جان کربس، سارا لپینکات، جری لیون، و به‌ویژه همسرم، لالا وارد، که طراحی‌های کتاب را انجام داده است، به نسبت‌های متفاوت بهره برده‌ام. بعضی پاراگراف‌ها در این جا و آنجا از روی مقاله‌هایی که در جاهای دیگری منتشر شده‌اند، بازنویسی شده‌اند. پاراگراف‌های فصل اول درباره رمزهای دیجیتالی (رقمی) و آنالوگ بر مبنای مقاله‌ام در نشریه *اسپکتاتور*، ۱۱ ژوئن ۱۹۹۴، استوار است. گزارش دن نیلسون و سوزان پلگر، از پژوهش در مورد تکامل چشم در فصل سوم، از مقاله‌ام تحت عنوان «*خبرها و نظرها*» برگرفته شده است که در *نیچرز*، ۲۱ آوریل ۱۹۹۴، منتشر شده است. از ویراستاران هر دو نشریه، که نوشتن مقالات مربوطه را توصیه کردند، سپاسگزارم. سرانجام، از دعوت اولیه جان بروکمن و آنتونی چیتام برای پیوستن به مؤلفان رشته کتاب‌های *بزرگان دانش* سپاسگزارم.

ریچارد داوکینز، اکسفورد، ۱۹۹۴



رودخانه دیجیتال

همه مردم در مورد نیاکان قبیله خود افسانه‌های حماسی به میراث برده‌اند، و این افسانه‌ها اغلب در قالب فرقه‌های مذهبی رسمیت می‌یابند. مردم به نیاکان خود حرمت می‌گذارند و حتی آن‌ها را چنان که باید می‌پرستند زیرا این نیاکان واقعیشان کلید فهم حیات است، و نه خدایان ماوراءطبیعی. از میان همه اندامگان‌هایی که به دنیا می‌آیند، اکثریتشان پیش از رسیدن به بلوغ می‌میرند. به این ترتیب، از میان اکثریتی که زنده می‌مانند و تولیدمثل می‌کنند، اقلیت حتی کوچک‌تری زادگان و نوادگانی خواهند داشت که هزار نسل زنده بمانند. این اقلیت کوچک از اقلیت‌ها، این نخبگان پیشگام، همه آن چیزی است که نسل‌های آینده می‌توانند آن را نیاکان بنامند. نیاکان کمیابند، اما زادگان فراوان.

همه اندامگان‌هایی که تاکنون زیسته‌اند – هر جانور و گیاه، همه باکتری‌ها و قارچ‌ها، هر موجود خزنده، و همه خوانندگان این کتاب – می‌توانند به نیاکانشان نظر کنند و چنین مغرورانه ادعا کنند: حتی یکی از نیاکان ما در کودکی درنگزشته است. همه آن‌ها به بلوغ رسیدند و تک‌تکشان قادر بود دست‌کم یک شریک از جنس مخالف بیابد و با وی با کامیابی نزدیکی کند^۱. حتی یک فرد از نیاکان ما را دشمن یا ویروس نابود

۱. به بیان دقیق‌تر، مواردی استثنایی یافت می‌شوند. برخی جانوران، مانند شته‌ها، بدون

نکرده، یا گام نهادن اشتباهی بر لب پرتگاه بر خاک نیفکنده است، مگر آنکه دست‌کم یک فرزند به این جهان آورده باشد. هزاران تن از معاصران نیاکان ما در تمام این موارد شکست خوردند، ولی حتی فقط یک تن از نیاکان ما در هیچ‌یک از آن‌ها شکست نخورد. این جملات به‌طور خیره‌کننده‌ای آشکار است؛ ولی از آن‌ها چیزهای بیشتری نتیجه می‌شود: چیزهای بیشتری که شگفت و نامنتظره است، چیزهای بیشتری که توضیح می‌دهد، و چیزهای بیشتری که به شگفتی وامی‌دارد.

از آنجا که همه اندامگان‌ها تمامی ژن‌های خود را از نیاکان خویش به ارث می‌برند، و نه از معاصرین ناموفق نیاکانشان، همگی اندامگان‌ها، ژن‌هایی موفق دارند. آن‌ها چیزی را که برای نیاکان شدن لازم بود داشتند، و آن به معنی زنده ماندن و تولیدمثل کردن بود. به همین علت است که اندامگان‌ها گرایش به ارث بردن ژن‌هایی را دارند که مایلند ماشینی را بسازند که به خوبی طراحی شده است – بدنی که فعالانه کار می‌کند، گویی سعی دارد به یک دنیا تبدیل شود. به همین جهت است که پرندگان این قدر در پرواز کردن، ماهی‌ها این قدر در شنا کردن، میمون‌ها این قدر در بالا رفتن، و ویروس‌ها این قدر در انتشار مهارت دارند. به همین علت است که ما زندگی را و آمیزش جنسی را و فرزندانمان را دوست داریم. علت این است که همه ما، بدون یک استثناء، همه ژن‌هایمان را از یک خط ممتد نیاکان موفق به ارث می‌بریم. جهان پر از اندامگان‌هایی است که از

→

آمیزش جنسی تولیدمثل می‌کنند. روش‌هایی مانند باروری مصنوعی برای انسان‌های امروزی، بچه دار شدن بدون آمیزش جنسی را میسر کرده است، حتی – چون تخمک لازم برای باروری در شیشه آزمایشگاه را می‌توان از جنین یک ماده برداشت – بدون رسیدن به سن بلوغ. اما برای رسیدن به بیشتر این اهداف، جان کلام من همچنان صادق است.

آن چیزی برخوردارند که برای نیا شدن لازم است. در یک جمله این داروینیسیم است. البته، داروین بیش از این‌ها گفت، و امروزه می‌توانیم بیشتر بگوییم، و به همین علت است که این کتاب در این‌جا متوقف نمی‌شود.

یک شیوه طبیعی و عمیقاً مخرب در بدفهمی پاراگراف پیشین وجود دارد. این فکر اغواکننده است که وقتی نیاکان ما کارهای موفقی انجام دادند، در نتیجه ژن‌هایی را که به فرزندانشان انتقال دادند، پیشرفته‌تر از آن‌هایی بود که خود از والدینشان دریافت داشتند. این‌که چیزی در مورد موفقیتشان بر ژن‌هایشان نقش بست، و به همین جهت است که زادگان آن‌ها این‌قدر در پرواز کردن، شنا کردن ماهر و مسلط‌اند. اشتباهی رخ داده، به کلی اشتباه! ژن‌ها هنگام مصرف بهبود نمی‌یابند، فقط انتقال می‌یابند، و جز بعضی خطاهای تصادفی کمیاب تغییری نمی‌یابند.

موفقیت، ژن‌های خوبی را نمی‌سازد. ژن‌های خوب موفقیت‌سازند، و هر کاری را که یک فرد در دوران حیاتش انجام می‌دهد، به‌هیچ‌وجه تأثیری بر ژن‌هایش ندارد. به احتمال زیاد، آن افرادی که با ژن‌های خوب زاده شده‌اند، رشد می‌کنند و نیاکان موفقی می‌شوند. بنابراین، احتمال بیشتری وجود دارد که ژن‌های خوب به نسل آینده انتقال یابند تا ژن‌های بد. هر نسل یک صافی یا الک است: ژن‌های خوب گرایش دارند از این الک عبور کنند و به نسل بعدی برسند. ژن‌های بد گرایش دارند در بدن‌هایی بمانند که بدون تولیدمثل در جوانی می‌میرند. ممکن است ژن‌های بد در یک یا دو نسل از این الک بگذرند، شاید به این علت که بخت خوبی دارند که در بدنی با ژن‌های خوب هستند. ولی این ژن‌ها به چیزی بیشتر از یک بخت خوب نیاز دارند تا از هزاران الک پی‌درپی، یکی

در زیر دیگری، با موفقیت عبور کنند. پس از هزار نسل پیایی، احتمال دارد که ژن‌هایی که از این ال‌ها عبور کرده‌اند، ژن‌های خوبی باشند.

گفتم ژن‌هایی که پس از نسل‌ها زنده می‌مانند، آن‌هایی‌اند که موفق می‌شوند به نیاکان تبدیل شوند. این موضوع، با یک استثنای آشکار صادق است، که پیش از آن‌که فکرش سبب سردرگمی شود، باید به آن بپردازم. برخی افراد به‌طور برگشت‌ناپذیری نازایند، با این حال به‌نظر می‌رسد که چنان طراحی شده‌اند که به عبور ژن‌هایشان به نسل‌های آینده یاری می‌رسانند. مورچه‌ها، زنبورهای عسل، زنبورهای دیگر، و موریانه‌ها نازایند. این موجودات برای این‌که نیاکان شوند زحمتی به خود نمی‌دهند، بلکه برای اینکه بستگان بارورشان، معمولاً خواهران و برادرانشان، نیاکان شوند، تلاش می‌کنند. در این جا باید به دو نکته توجه کرد. اولاً، در هر نوع جانوری امکان زیادی وجود دارد که خواهران و برادران نسخه ژن‌های مشابهی را به اشتراک بگذارند. ثانیاً، این محیط است، و نه ژن‌ها، که تعیین می‌کند آیا یک، مثلاً موریانه، کارگر زایا می‌شود یا کارگر نازا. همه موریانه‌ها دارای ژن‌هایی‌اند که می‌توانند تحت شرایط محیطی معینی آن‌ها را به کارگران نازا، و در شرایط دیگری به کارگران زایا تبدیل کند. کارگران تولیدکننده نسخه‌های همان ژن‌هایی را انتقال می‌دهند که به کارگران نازا کمک می‌کند تا کار خود را انجام دهند. کارگران نازا تحت تأثیر ژن‌هایی کار می‌کنند که نسخه‌های آن‌ها در بدن کارگران زایا هم یافت می‌شود. نسخه‌های ژن‌های آن کارگران تلاش می‌کنند به نسخه‌های زایای خودشان در این ال‌های فرانسلی یاری برسانند. موریانه‌های کارگر می‌توانند نر یا ماده باشند، ولی در مورچه‌ها، زنبورهای عسل، و زنبورهای بی‌عسل همه کارگران ماده‌اند، وگرنه اصل

قضیه فرقی نمی‌کند. این موضوع در شکل ساده‌تر آن شامل چندین گروه دیگر پرندگان، پستانداران و جانورانی هم می‌شود که تا حدودی خواهران و برادران بزرگ‌تر از نوزادان مراقبت می‌کنند. به‌طور خلاصه، ژن‌ها می‌توانند راه خود را از میان الک‌ها باز کنند، نه تنها با یاری رساندن به بدن خود تا به یک نیا تبدیل شوند، بلکه با کمک به بدن یکی از بستگان تا آن نیز به نیا بدل شود.

رودخانه‌ای که در عنوان کتاب آمده است، رودخانه دی.ان.ای است، و در زمان جریان دارد و نه در فضا. رودخانه‌ای از اطلاعات است و نه رودخانه‌ای از استخوان و بافت: رودخانه‌ای از دستورعمل‌های انتزاعی برای ساختن بدن‌ها، نه رودخانه‌ای از بدن‌های یکپارچه. این اطلاعات از این بندها گذر می‌کند و بر آن‌ها اثر می‌گذارند، ولی هنگام گذار تحت تأثیر آن‌ها قرار نمی‌گیرند. این رودخانه نه فقط تحت تأثیر تجارب و دستاوردهای بدن‌های متوالی قرار نمی‌گیرد که از درون آن‌ها عبور می‌کند، بلکه تحت تأثیر منبع آلودگی احتمالی آن که ظاهراً بسیار قوی‌تر است، یعنی آمیزش جنسی، هم قرار نمی‌گیرد.

در هریک از سلول‌های بدن شما نیمی از ژن‌های مادرتان با نیمی از ژن‌های پدرتان سروکار دارند. ژن‌های پدری و مادری شما به صمیمانه‌ترین وجهی با هم تباری می‌کنند تا شما را به همین ملقمه زیرکانه و تقسیم‌ناپذیری تبدیل کنند که هستید. اما خود ژن‌ها با همدیگر آمیخته نمی‌شوند، بلکه فقط آثارشان با هم می‌آمیزند. خود ژن‌ها از تمامیتی محدود برخوردارند. هنگامی که زمان حرکت به سوی نسل بعدی فرا می‌رسد، یک ژن به بدن یک فرزند معین می‌رود و یا نمی‌رود. ژن‌های پدری و ژن‌های مادری با همدیگر نمی‌آمیزند، آن‌ها از نو مستقلاً با هم

ترکیب می شوند. یک ژن معین یا از پدرتان به شما رسیده یا از مادرتان. به همین ترتیب از یکی، و فقط یکی، از چهار پدربزرگ و مادربزرگان آمده است. فقط از یکی، و فقط یکی، از هشت پدر و مادر پدربزرگ ها و یا مادربزرگ هایتان آمده است، و به همین ترتیب تانسل های پیشین.

من از رودخانه ای از ژن ها سخن گفته ام، ولی می توانیم به همین سیاق از گروهی همراهان موافق صحبت کنیم که در درازای زمان زمین شناختی گام برمی دارند. همه این ژن های یک جمعیت زاینده، در درازمدت، همراه یکدیگرند. در کوتاه مدت در بدن های افرادی نشسته اند و به طور موقت همراهان صمیمی ژن های دیگری اند که در آن بدن خانه دارند. ژن ها فقط وقتی طی اعصار باقی می مانند که در ساختن بدن هایی خوب باشند که در ادامه حیات و تولید مثل کردن به شیوه ویژه ای که آن گونه برگزیده اند، خوب باشند. ولی نقش آن ها بیشتر از این هاست. برای خوب بودن در زندهمانی، ژن باید در همکاری با ژن های دیگر در همان گونه، یعنی همان رودخانه، خوب باشد. برای زنده ماندن در درازمدت، ژن باید یک همراه خوب باشد. یا در همراهی، یا در مقابل زمینه، ژن های دیگر در همان رودخانه خوب کار کند. ژن های گونه های دیگر در رودخانه متفاوتی جاری اند. نایستی با هم خوب بسازند، در هر حال نه به همان مفهوم، زیرا نایستی در همان بدن مشترک باشند.

خصوصیاتی که یک گونه را تعریف می کند، از این قرار است که هر گونه همان رودخانه ای از ژن ها را دارد که از آن ها می گذرد، و همه ژن های یک گونه باید مهیا باشند که همراهان خوب یکدیگر را تشکیل دهند. هنگامی که یک گونه موجود به دو گونه تقسیم می شود، گونه جدیدی به وجود می آید. رودخانه ژن ها به موقع خود انشعاب می یابد. از نگاه یک

ژن، گونه سازی، حین پیدایش گونه های جدید، یک «**خدا حافظی طولانی**» است. پس از یک مرحله کوتاه جدایی جزئی، این دو رودخانه برای همیشه به راه های جداگانه خودشان می روند. یا این که یکی یا دیگری به شن ها فرو می رود و منقرض می شود. در ایمنی سواحل هریک از دو رودخانه، آب بارها با **نوترکیبی جنسی** می آمیزد و باز می آمیزد. ولی آب هیچ گاه از سواحل خود طغیان نمی کند تا رودخانه دیگر را بیالاید. پس از این که گونه ها تقسیم شدند، هر دو گروه ژن ها دیگر همراه هم نیستند. آن ها دیگر در همان بدن همدیگر را ملاقات نمی کنند و دیگر نیازی نیست که با هم سازگاری یابند. دیگر هیچ گونه آمیزشی میان آن ها برقرار نیست؛ در این جا منظور از آمیزش، به معنی آمیزش جنسی میان حاملین موقتی آن ها، یعنی بدن هایشان، نیست.

چرا دو گونه باید تقسیم شوند؟ چه چیزی آغازگر خدا حافظی طولانی ژن هایشان است؟ چه چیزی باعث می شود که یک رودخانه انشعاب یابد و دو شاخه از هم جدا شوند و هیچ گاه دوباره به هم نرسند؟ جزئیات آن بحث انگیز است، ولی هیچ کس شک ندارد که مهم ترین عامل آن جدایی جغرافیایی تصادفی است. رودخانه ژن ها در زمان جاری است، ولی مشارکت کالبدی دوباره ژن ها در بدن های مادی انجام می شود، و بدن ها مکانی را در فضا اشغال می کنند. یک سنجاب خاکستری در آمریکای شمالی اگر زمانی با یک سنجاب خاکستری در انگلستان مواجه شود، قادر خواهد بود تولید مثل کند. ولی احتمالی نمی رود که این دو با هم مواجه شوند. بین رودخانه ژن های سنجاب خاکستری در امریکا و رودخانه ژن های سنجاب خاکستری در انگلستان عملاً چهار هزار و پانصد کیلومتر اقیانوس فاصله است. دو گروه از ژن ها در واقع دیگر همراه

هم نیستند، اگرچه به احتمال زیاد، اگر فرصت آن فراهم شود، می‌توانند همچون همراهان خوب عمل کنند. آن‌ها با هم خداحافظی کرده‌اند، اگرچه هنوز خداحافظی برگشت‌ناپذیر نیست. اما اگر چند هزار سال دیگر جدایی در میان باشد، احتمال می‌رود که هر دو رودخانه چنان از هم دور شده باشند که سنجاب‌ها دیگر نتوانند به تبادل ژن بپردازند. در این جا «دور شدن» به معنی دوری فضایی (مکانی) است و نه دوری در سازگاری.

چیزی مانند این به احتمال زیاد در پشت جدایی دورتر میان سنجاب‌های خاکستری و سنجاب‌های سرخ قرار دارد. آن‌ها نمی‌توانند با همدیگر تولیدمثل کنند. آن‌ها از نظر جغرافیایی در برخی بخش‌های اروپا با هم تداخل می‌کنند، و اگرچه گه‌گاه با هم روبه‌رو می‌شوند و احتمالاً بر سر دانه‌های مورد اختلاف با همدیگر نزاع می‌کنند، اما نمی‌توانند با هم نزدیکی و زادگان بارور تولید کنند. رودخانه‌های ژنتیک آن‌ها بیش از حد از همدیگر دور شده‌اند. یعنی، ژن‌های آن‌ها دیگر چنان مناسب نیستند که در بدن‌هایشان با همدیگر همکاری کنند. چندین نسل پیش‌تر، نیاکان سنجاب‌های خاکستری و سنجاب‌های سرخ جانداران واحد و همانندی بودند. ولی ایستگاه جغرافیایی آن‌ها از هم جدا شد، شاید به واسطه ایجاد یک رشته کوه، شاید به واسطه آب‌ها، و سرانجام توسط اقیانوس اطلس. و بین مجموعه ژنتیک آن‌ها فاصله افتاد. جدایی جغرافیایی فقدان سازگاری را می‌پرورد. همراه خوب، به همراه ضعیف تبدیل می‌شود (یا اگر در یک مواجهه آمیزشی آزموده شوند، معلوم می‌شود همراه ضعیف هستند). همراهان ضعیف باز هم ضعیف‌تر می‌شوند، تا این‌که دیگر به هیچ‌وجه همراه نباشند. خداحافظی آن‌ها نهایی است. دو رودخانه جدا

شده‌اند و سرنوشتشان از این قرار است که بیشتر و بیشتر از هم جدا باشند. همین داستان پایه جدایی زودتر میان نیاکان ما و، مثلاً، نیاکان فیل‌ها، یا میان نیاکان شترمرغ‌ها (که نیاکان ما هم بوده‌اند) و نیاکان کژدم‌هاست.

اکنون، بنابر برآوردی از تعداد گونه‌های روی زمین، شاید رودخانه دی.ان.ای سی میلیون شاخه دارد. این برآورد نیز شده است که گونه‌های باقی‌مانده، یک درصد گونه‌هایی را تشکیل می‌دهند که تاکنون زیسته‌اند. می‌توان نتیجه گرفت که رودخانه دی.ان.ای روی هم‌رفته در حدود سه میلیارد شاخه پیدا کرده است. اکنون سی میلیون شاخه رودخانه به‌طور برگشت‌ناپذیری از هم جدا شده‌اند. بسیاری از آن‌ها محکوم به نابودی‌اند، زیرا بیشتر گونه‌ها منتقض می‌شوند. اگر سی میلیون رودخانه را در گذشته دنبال کنید (برای اختصار در بیان، شاخه رودخانه‌ها را رودخانه می‌نامم)، خواهید دید که آن‌ها یکی‌یکی به رودخانه‌های دیگر می‌پیوندند. در حدود هفت میلیون سال پیش، رودخانه ژن‌های انسان در همان زمانی به رودخانه ژن‌های شمپانزه می‌رسد که رودخانه ژن‌های گوریل به آن می‌پیوندد. چندین میلیون سال پیش‌تر از آن، جریان ژن‌های اورانگ‌اوتان به رودخانه انسان‌نمای آفریقایی مشترک ما پیوست. باز هم پیش‌تر از آن، رودخانه ژن‌های میمون درازدست، رودخانه‌ای که در پایین‌دست به تعدادی از گونه‌های جداگانه میمون درازدست و سیامانگ تقسیم می‌شود، به ما می‌پیوندد. همچنانکه در زمان عقب‌تر می‌رویم، رودخانه ژنتیک ما با رودخانه‌هایی یکی می‌شود، که اگر به جلو دنبال شوند، به میمون‌های دنیای قدیم، میمون‌های دنیای جدید، و لمورهای ماداگاسکار شاخه‌شاخه می‌شوند. حتی پیش‌تر از آن، رودخانه ما به

آن‌هایی می‌پیوندد که به گروه‌های عمده پستانداران دیگر ختم می‌شوند: جوندگان، گربه‌سانان، خفاش‌ها، و فیل‌ها. پس از آن به جریان‌هایی می‌رسیم که به انواع مختلف خزندگان، پرنده‌گان، دوزیستیان، ماهیان و بی‌مهرگان می‌انجامد.

در این جا، به نکته مهمی برمی‌خوریم که درباره استعاره رودخانه باید محتاط باشیم. هنگامی که در مورد تقسیمی می‌اندیشیم که به همه پستانداران می‌انجامد، در مقابل مثلاً جویی که به سنجاب خاکستری منتهی می‌شود، تصور چیزی بزرگ، در مقیاس می‌سی‌سی‌پی / میسوری، و سوسه‌کننده است. مقدر بود که شاخه پستانداران شاخه شاخه، و باز هم شاخه شاخه شود. تا این که همه پستانداران از حشره‌خوار کوتوله تا فیل، از موش‌کور زیرزمینی تا میمون‌های روی سرشاخه‌های درختان، را تولید کند. سرنوشت شاخه پستانداران رودخانه این بوده است که هزاران آبراهه مهم تنه را خوراک دهد؛ چگونه می‌تواند جز از یک سیل غلتنده عظیم نباشد؟ هنگامی که نیاکان همه پستانداران جدید از همه آن‌ها جدا شدند که پستاندار نیستند، این حادثه با اهمیت‌تر از گونه‌سازی‌های دیگر نبود. این واقعه مورد توجه هر زیست‌شناسی قرار نمی‌گرفت که برحسب اتفاق در آن واقعه حاضر بود. شاخه جدید رودخانه ژن‌ها چکه‌ای بود، و در گونه یک موجود شب‌زی کوچک تفاوت چندانی با عموزاده‌های غیرپستاندار خود نداشت، همان‌طور که یک سنجاب سرخ با یک سنجاب خاکستری تفاوت دارد. فقط با نگرش به گذشته است که پستانداران نیاکانی را به شکل پستاندار می‌بینیم. در آن روزگاران گونه دیگری از خزندگان پستاندارسان وجود داشت، که فرق محسوسی با شاید تعداد کمی حشره‌خوار کوچک و پوزه‌دار نداشت که لقمه غذای

دایناسورها بودند. همین سادگی در مورد جدا شدن پیشین نیاکان همه گروه‌های جانوری هم وجود داشت: مهره‌داران، نرم‌تنان، حشرات، کرم‌های بنددار، کرم‌های صاف، عروس دریایی و جز آن‌ها. هنگامی که رودخانه‌ای که قرار بود به نرم‌تنان (و دیگران) منتهی شود، از رودخانه‌ای جدا شد که قرار بود به مهره‌داران (و دیگران) ختم شود، هر دو جمعیت که موجوداتی (احتمالاً کرم‌مانند) بودند، آن قدر به هم شباهت داشتند که می‌توانستند با هم آمیزش جنسی کنند. تنها دلیلی که با هم آمیزش جنسی نکردند این بود که به‌طور اتفاقی توسط بعضی موانع جغرافیایی، شاید یک زمین خشک که آب‌های به هم پیوسته را جدا می‌کرد، از هم جدا شده بودند. هیچ‌کس نمی‌توانست گمان برد که یک جمعیت به تولیدمثل نرم‌تنان و جمعیت دیگر به تولیدمثل مهره‌داران بپردازد. هر دو رودخانه دی.ان.ای جوی‌های کوچکی بودند که هنوز از هم جدا نشده بودند، و هر دو گروه از جانوران از هم تشخیص داده نمی‌شدند.

جانورشناسان همه این‌ها را می‌دانند، ولی گاهی در خلال پرداختن به گروه‌های واقعاً بزرگ جانوری، مانند نرم‌تنان و مهره‌داران، آن را فراموش می‌کنند. آن‌ها گرایش دارند در مورد تقسیم گروه‌های عمده به عنوان یک واقعه مهم بیندیشند. دلیل این که جانورشناسان ممکن است تا این حد به خطا رفته باشند، این است که آن‌ها با این اعتقاد کاملاً محترمانه آموزش یافته‌اند که هریک از تقسیم بندی‌های بزرگ سلسله جانوران با چیزی عمیقاً بی‌همتا مجهز شده‌اند که اغلب به واژه آلمانی باوپلان^۱ را برای آن

۱. Bauplan. معنی فنی این واژه غالباً «طرح اساسی بدن» ترجمه می‌شود. استفاده از واژه «اساسی» (یا به همان ترتیب، اضافه کردن آگاهانه به زبان آلمانی به معنی عمیق) است که به اصطلاح آسیب می‌رساند.

انتخاب کرده‌اند. اگرچه این واژه صرفاً به معنی «نقشه ساخت» است، اما اصطلاحی فنی شناخته شده به‌شمار می‌آید، و من آن را به یک واژه انگلیسی ترجمه می‌کنم، اگرچه هنوز در چاپ جدید فرهنگ انگلیسی اکسفورد وجود ندارد (و از پی بردن به این موضوع یکه خوردم). از آنجا که کمتر از بعضی از همکارانم از این واژه خوشم می‌آید، قبول می‌کنم در نبودن آن کمی خوشحالی شروانه به من دست داد. این دو واژه خارجی در فرهنگ اکسفورد یافت می‌شوند، بنابراین هیچ‌گونه پیش‌داوری سامان‌یافته‌ای بر علیه ورود کلمات خارجی در کار نیست. این موضوع باعث می‌شود که جانورشناسان دچار خطاهای جدی شوند.

مثلاً یک جانورشناس ابراز نظر کرده است که تکامل در دوران کامبرین (در حدود ششصد میلیون تا پانصد میلیون سال پیش از این) باید فرایندی از نوع کاملاً متفاوت با روند تکامل در دوران‌های بعدی بوده باشد. استدلال او این بود که امروزه گونه‌های جدیدی به‌وجود می‌آیند، درحالی‌که در دوران کامبرین گروه‌های عمده، مانند نرم‌تنان، و سخت‌پوستان ظاهر می‌شدند. این مغالطه خیره‌کننده است! حتی موجوداتی مانند نرم‌تنان و سخت‌پوستان که از نظر بنیادی با هم تفاوت داشتند، در ابتدا فقط جمعیت‌های جدا شده از همان گونه بودند که بین آن‌ها فاصله جغرافیایی افتاده بود. برای مدتی، اگر به هم برمی‌خوردند می‌توانستند با هم آمیزش جنسی برقرار کنند، ولی این اتفاق نمی‌افتاد. پس از میلیون‌ها سال که از تکامل جداگانه سپری شد، خصایصی را کسب کردند که ما، با گذشته‌نگری جانورشناسان جدید، آن‌ها را تحت عنوان نرم‌تنان و سخت‌پوستان می‌شناسیم. این خصایص با عنوان پرآب‌وتاب «طرح اساسی بدن» یا باوپلان تکریم شده است. ولی عمده سلسله

جانوران از منشاء مشترک خود از طریق مراحل تدریجی انشعاب یافت. بی‌گمان یک مورد عدم توافق کوچک، اگرچه بسیار شایع، در این مورد جایی است که تکامل تا چه حد تدریجی یا جهنده است. ولی هیچ‌کس، دقیقاً هیچ‌کس، فکر نمی‌کند تکامل هیچ‌گاه به قدر کافی جهنده بوده است تا یک باوپلان جدید را در یک وهله ابداع کند. نویسنده‌ای که از وی نقل کردم، این موضوع را در سال ۱۹۵۸ نگاشته است. تعداد کمی از جانورشناسان آشکارا چنین موضعی می‌گیرند، ولی گاهی به طور ضمنی دست به چنین کاری می‌زنند. چنان صحبت می‌کنند که گویی گروه‌های عمده جانوران به طور خودبه‌خود یافت شدند و شکل کاملی داشتند، مانند تکامل آتنا از سر زئوس، تا با انشعاب از یک جمعیت نیاکانی به هنگام جدایی جغرافیایی تصادفی.^۱

اما، مطالعه در حوزه زیست‌شناسی مولکولی، نشان داده است که گروه‌های جانوری بزرگ بسیار نزدیک‌تر از آنند که فکرش را می‌کردیم. می‌توانید رمز ژنتیکی را مانند یک فرهنگ لغت در نظر بگیرید که در آن شصت و چهار کلمه در یک زبان (شصت و چهار کلمه سه‌تایی ممکن از یک الفبای چهار حرفی) به بیست و یک حرف در زبان دیگر ترجمه شده‌اند (بیست اسید آمینه به اضافه یک علامت سجاوندی). احتمال رسیدن به همان ۶۴:۲۱ ترجمه دوبار به طور تصادفی کمتر از یک در میلیون میلیون میلیون است. با این حال، ظاهراً رمز ژنتیکی در همه جانوران، گیاهان، و باکتری‌هایی که بررسی شده‌اند یکسان است. همه

۱. شاید خواننده بخواهد هنگام مراجعه به کتاب *حیات شگفت‌انگیز*، به قلم استفن جی. گولد، درباب شرح زیگان کامبرینی (Cambrian fauna) در شیل بورگس (Burgess Shale)، که به زیبایی نوشته شده است، این نکته را در نظر داشته باشند.

موجودات زنده زمینی قطعاً از یک نیا پدید آمده‌اند. هیچ‌کس آن را انکار نمی‌کند، ولی وقتی پژوهشگران نه فقط خود رمز را، بلکه جزئیات توالی‌های اطلاعات ژنتیکی را بررسی می‌کنند، برخی شباهت‌های نزدیک شگفت‌آور میان حشرات، و مثلاً، پستانداران اکنون دارد آشکار می‌شود. سازوکار ژنتیکی بسیار پیچیده‌ای عامل ساختار بدن قطعه‌بندی شده حشرات است. یک قطعه مشابه عجیب از ماشین ژنتیک نیز در پستانداران یافت شده است. از دیدگاه مولکولی، همه جانوران خویشاوندان بسیار نزدیک به یکدیگر و حتی گیاهان‌اند. باید به‌سوی باکتری بروید تا عموزاده‌های دور خود را بیابید، و حتی در آن وقت هم رمز ژنتیک مشابه رمز ژنتیک خود ماست. دلیل این که می‌توان چنین محاسبه دقیقی دربارهٔ رمز ژنتیک به دست داد، اما در مورد کالبدشناسی نمی‌توان چنین کاری کرد، این است که رمز ژنتیکی به‌طور دقیق دیجیتال (رقمی)، و ارقام را می‌توان به‌دقت شمرد. رودخانه ژن‌ها، رودخانه دیجیتال است و اکنون باید معنای این اصطلاح مهندسی را شرح دهم.

مهندسان، میان رمز دیجیتال و رمز آنالوگ (قیاسی) تفاوت چشمگیری قائل‌اند. گرامافون‌ها و ضبط‌صوت‌ها، و تا همین اواخر بیشتر تلفن‌ها، از رمزهای آنالوگ استفاده می‌کنند. لوح‌های فشرده، کامپیوترها، و بیشتر دستگاه‌های تلفن جدید از رمزهای دیجیتال بهره می‌گیرند. در دستگاه تلفن آنالوگ، امواج پیوسته در حال نوسان فشار در هوا (اصوات) به امواج ولتاژ با نوسان متناظر سیم تبدیل می‌شوند. گرامافون نیز به همین ترتیب کار می‌کند: شیارهای موج‌دار سبب می‌شود که سوزن به ارتعاش درآید، و حرکت سوزن به نوسان‌های مشابه در ولتاژ تبدیل می‌شود. در انتهای دیگر این خط، این امواج ولتاژ با یک غشاء ارتعاشی در گوشی

تلفن، یا بلندگوی گرامافون، دوباره به امواج فشار هوای متناظر تبدیل می‌شوند و به این ترتیب می‌توانیم آن‌ها را بشنویم. این رمز، ساده و مستقیم است: نوسان‌ها یا افت‌وخیزهای الکتریکی در سیم با نوسان‌های فشار در هوا متناسب‌اند. همه ولتاژهای ممکن، در محدوده‌های معینی، می‌توانند از سیم بگذرند و تفاوت میان آن‌ها اهمیت دارد.

در تلفن دیجیتال، فقط دو ولتاژ ممکن، مانند ۸ یا ۲۵۶، از سیم عبور می‌کند. اطلاعات نه فقط در خود ولتاژها، بلکه به صورت الگوپذیری ترازهای گسسته یافت می‌شوند. این الگو را پروانه‌سازی رمز پالس می‌نامند. ولتاژ عملاً در هر لحظه به ندرت دقیقاً برابر هر هشت تا، مثلاً، مقادیر اسمی آن، است، ولی دستگاه گیرنده آن را تا نزدیک‌ترین ولتاژهای طراحی شده گرد می‌کند. بنابراین، آنچه در انتهای دیگر خط پیش می‌آید نزدیک به کمال است، حتی اگر انتقال در امتداد خط خیلی ضعیف باشد. آنچه باید انجام دهید از این قرار است که ترازهای گسسته را به فاصله کافی از هم دور نگه دارید، به طوری که گیرنده نوسان‌های کاتوره‌ای را هیچ‌گاه به عنوان تراز اشتباهی سوءتعبیر نکند. این مزیت بزرگ رمزهای دیجیتال است، و به این دلیل است که دستگاه‌های صوتی و تصویری، و به طور کلی، فناوری اطلاعات، به طور روزافزونی به سوی دیجیتالی شدن می‌روند. البته کامپیوترها برای هر کاری که می‌کنند از رمزهای دیجیتالی بهره می‌گیرند. به خاطر آسان شدن کارها، این یک رمز دوتایی است. یعنی به جای ۸ یا ۲۵۶، فقط از دو تراز ولتاژی بهره می‌گیرند.

حتی در تلفن دیجیتال صوتی که به دهانی وارد و از گوشی خارج می‌شود، هنوز هم نوسان‌های آنالوگ در فشار هوا هستند. این اطلاعاتی

است که از یک تبادل به تبادل دیگر می‌رود، که دیجیتال است. باید نوعی رمزگذاری ایجاد شود تا مقادیر آنالوگ را، هر یک هزارم ثانیه به یک هزارم ثانیه، به یک توالی از پالس‌های گسسته - اعدادی که به‌طور دیجیتالی رمزگذاری شده‌اند - ترجمه کند. هنگامی که با تلفن با دلداری خود صحبت می‌کنید، هر نکته، هر زیروبم صدا، هر آه کشیدن عاطفی و طنین حسرت‌بار در طول سیم، فقط به شکل عدد حرکت می‌کند. اعداد می‌توانند شما را به گریه اندازند، به شرطی که به سرعت کافی رمزگذاری شوند و از رمز بیرون آیند. ابزارهای کلیدزنی جدید چندان سریع‌اند که زمان یک خط می‌تواند به چندین بخش تقسیم شود، درست مانند یک استاد شطرنج‌باز که وقتش را میان بیست بازی در حال گردش تقسیم می‌کند. با این ابزار، می‌توان هزاران مکالمه را، ظاهراً همزمان، ولی از نظر الکترونیکی به‌طور مجزا و بدون تداخل در یک خط تلفن جای داد. هر خط داده‌های شریان که امروزه بسیاری از آن‌ها اصلاً نه سیم، بلکه امواج رادیویی‌اند، که مستقیم یا از فراز یک بلندی به نوک بلندی دیگر مخابره می‌شوند، یا از ماهواره‌ها باز می‌تابند، رودخانه عظیمی از ارقام‌اند. ولی به علت این سوا سازی الکترونیکی مبتکرانه، هزاران رودخانه دیجیتال در همان سواحل سهیم‌اند، اما در یک مفهوم سطحی و ظاهری، مانند سنجاب‌های سرخ و سنجاب‌های خاکستری که در همان درخت شریک‌اند، ولی هیچ‌گاه ژن‌هایشان را درهم نمی‌آمیزند.

به دنیای مهندسان برگردیم. کاستی‌های سیگنال‌های آنالوگ، مادام‌که به‌طور مکرر نسخه‌برداری نشوند، چندان اهمیتی ندارند. صدای خش‌خش یک ضبط‌صوت ممکن است چندان کم باشد که به سختی متوجه آن بشوید، مگر آن‌که صدا را بلند کنید، که در این حالت صدای

خس خس را هم تقویت و صدای جدیدی را هم وارد کرده‌اید. اما اگر از روی این نوار ضبط‌صوت نوار دیگری پُر کنید، سپس از روی آن نوار دیگری، و از روی این یکی نوار دیگری باز هم از روی این یکی نوار دیگری را پر کنید و به همین ترتیب ادامه دهید، بعد از صدها «نسل»، تنها صدایی که باقی می‌ماند، یک صدای خس خس وحشتناک است. چنین چیزی در زمانی که تلفن‌ها آنالوگ بودند، به صورت یک مشکل همواره با آن‌ها بود. هر سیگنال تلفنی در امتداد یک سیم بلند ضعیف می‌شود و باید در حدود هر دویست کیلومتر تقویت و دوباره تقویت شود. در دوران آنالوگ، این امر دردسر بزرگی بود، زیرا هر مرحله از تقویت تناسب صدای خس خس زمینه را افزایش می‌داد. سیگنال‌های دیجیتالی نیز تقویت لازم دارند، ولی بنابر دلایلی که گفتیم، تقویت آن‌ها هیچ خطایی را پیش نمی‌آورد: سیستم را می‌توان چنان برپا کرد که اطلاعات به طور کامل عبور کند، و هیچ اهمیتی ندارد که چه تعداد ایستگاه‌های تقویت در مسیر است. صدای خس خس حتی طی صدها و صدها کیلومتر افزایش نمی‌یابد.

هنگامی که کودک خردسالی بودم مادرم برایم توضیح داد که سلولهای عصبی سیم‌های تلفن بدن ما هستند. آن‌ها آنالوگ‌اند یا دیجیتال؟ پاسخ از این قرار است که آن‌ها مخلوطی از هر دو هستند. هر سلول عصبی مانند یک سیم برق نیست، بلکه یک لوله نازک و دراز است که امواج تغییر شیمیایی امتداد آن را می‌پیمایند، مانند دنباله باروت که در روی زمین فش فش می‌کند، با این تفاوت که برخلاف دنباله باروت، سلول عصبی به سرعت بازیابی می‌شود و می‌تواند پس از مدت کوتاهی دوباره فش فش کند. قدر مطلق این موج، یعنی دمای باروت، همچنان که در طول عصب

پیش می‌رود، ممکن است دستخوش افت‌وخیز شود، ولی این امر به مبحث مورد بحث، ربطی ندارد. رمز آن را نادیده می‌گیرد. یا پالس شیمیایی وجود دارد و یا خیر، مانند دو تراز ولتاژ گسسته در یک تلفن دیجیتال. در این حد، دستگاه عصبی دیجیتال است. ولی ضربه‌های عصبی ناگزیر نشده‌اند به بایت تبدیل شوند: آن‌ها به شکل اعداد رمزی گسسته سرهم‌بندی نشده‌اند. در عوض، نیروی پیام (بلندی صدا، روشنایی نور، شاید حتی رنج احساسات) به شکل آهنگ ضربه رمزگذاری شده است. اکنون مهندسان این مورد را مدوله‌سازی پالس می‌نامند و پیش از مدوله‌سازی رمز پالس با آن سازگار بودند.

آهنگ پالس کمیتی آنالوگ است، ولی پالس‌ها خودشان دیجیتال‌اند: یا وجود دارند یا وجود ندارند، تعداد نیم یا نصفی برای آن‌ها موجود نیست. دستگاه عصبی، مانند هر سیستم دیجیتال، همان بهره را از این موضوع می‌برد. به اعتبار شیوه کار سلول‌های عصبی، معادل یک توان‌افزای تقویت در آن وجود دارد، نه هر صدها کیلومتر، بلکه در هر میلی‌متر، هشتصد ایستگاه تقویت میان طناب نخاعی و نوک انگشت شما یافت می‌شود. اگر ارتفاع مطلق ضربه عصبی – یعنی، موج باروت – موردنظر باشد، این پیام فراتر از درازای بازوی آدمی، و فراتر از شناخت و پیچیده می‌شد، چه برسد به گردن زرافه. هر مرحله از تقویت خطاهای کاتوره‌ای بیشتری وارد می‌کرد، مانند وقتی محتویات یک نوار ضبط‌صوت هشتصد بار پی‌درپی روی قرارهای دیگر ضبط شود. یا هنگامی که از روی یک برگ فتوکپی یک فتوکپی دیگر نسخه‌برداری کنید. پس از هشتصد «نسل» فتوکپی کردن، آنچه باقی می‌ماند یک لکه خاکستری رنگ است.

رمزگذاری دیجیتالی (رقمی) تنها راه حل مشکل سلول عصبی را ارائه

می دهد، و انتخاب طبیعی به خوبی آن را اختیار کرده است. همین امر در مورد ژن ها هم صادق است.

به نظر من از فرانسیس کریک و جیمز واتسون، کاشفان ساختار مولکولی ژن ها، باید قرن ها مانند ارسطو و افلاطون یاد و تقدیر شود. جایزه نوبل در رشته «فیزیولوژی و پزشکی» به آن ها داده شد، که کاری درست اما پاداشی تقریباً ناچیز بود. گفت وگو از انقلاب مداوم تقریباً یک تناقض لفظی است، نه تنها در پزشکی بلکه در فهم کلی ما از حیات، در نتیجه مستقیم تغییر در تفکری که آن دو جوان در سال ۱۹۵۳ آغاز کردند، بارها و بارها انقلاب رخ خواهد داد. خود ژن ها و بیماری های ژنتیک فقط نوک یخکوه هستند. آنچه در حوزه زیست شناسی مولکولی در دوران پس از واتسون-کریک پیش آمد واقعاً انقلاب است، یعنی همان چیزی که دیجیتالی یا رقمی شده است.

پس از واتسون و کریک است که می دانیم خود ژن ها، در ساختار درونی خودشان، ریسمان های اطلاعات دیجیتالی خالص اند. موضوع مهم از این قرار است که آن ها به راستی دیجیتالی اند، به معنای کامل و قوی کامپیوترها و لوح های فشرده، نه به مفهوم ضعیف دستگاه عصبی. رمز ژنتیکی مانند کامپیوترها رمزی دوتایی نیست، بلکه رمزی چهارتایی با چهار علامت است. رمز ماشینی ژن ها به طور زیرکانه ای شبیه کامپیوتر است. سوای اختلاف در اصطلاحات، صفحات یک مجله زیست شناسی مولکولی را می توان با صفحات مجله مهندسی کامپیوتر جابه جا کرد. در میان نتایج متعدد دیگر آن، این انقلاب دیجیتالی در مرکز حیات، ضربه نهایی و کشنده را به زیستگرایی^۱ - این عقیده که ماده زنده به طور عمیقی

1. Vitalism

از ماده غیرزنده متمایز است – وارد آورد. تا سال ۱۹۵۳ باور کردن این که چیزی بنیادین و غیرقابل تقلیل و اسرارآمیز در پروتوپلاسم وجود دارد، هنوز هم ممکن بود. حالا دیگر این طور نیست. حتی آن فلاسفه‌ای که پیش از این با دیدگاه مکانیکی از حیات آشنا بودند، چنین جرأت امیدواری به تحقق دورترین رؤیاهای خویش را نداشتند.

طرح افسانه علمی زیر، که تفاوت آن با فناوری امروز از این است که فقط کمی سریع تر است، ممکن می‌نماید. پروفسور جیم کریکسان را یک نیروی شرور خارجی دزدیده و مجبور کرده است تا در یک آزمایشگاه جنگ بیولوژیکی کار کند. برای نجات تمدن انسانی اهمیت حیاتی دارد تا او برخی اطلاعات فوق‌محرمانه را به جهان خارج بفرستد؛ ولی همه راه‌های معمول ارتباطی، جز یکی، بر روی او بسته شده است. رمز دی.ان.ای از شصت و چهار «رمزینه» تشکیل یافته است که برای همه الفبای بزرگ و کوچک انگلیسی و اعداد یک تا ده، یک خط فاصله، و یک نقطه کافی است.

پروفسور کریکسان یک ویروس انفلونزای بیماری‌زا را از قفسه آزمایشگاه برداشته و در درون ژنوم آن متن کامل پیامش به جهان خارج را، به شکل جملات کامل انگلیسی، می‌گذارد. او این پیامش را بارها و بارها در ژنوم مهندسی شده تکرار می‌کند و یک توالی «علامتی»^۱ که به راحتی قابل شناسایی است – مانند اولین ده عدد اول – به آن اضافه می‌کند. سپس خودش را به ویروس آلوده کرده و در یک اتاق پراز جمعیت عطسه می‌کند. موجی از انفلونزا جهان را دربر می‌گیرد، و آزمایشگاه‌های پزشکی در سرزمین‌های دوردست تصمیم می‌گیرند

1. Flay sequence

به منظور تهیه واکسنی برای ردیف‌یابی ژنوم آن اقدام کنند. پس از کوتاه زمانی پی می‌برند که الگوی تکراری و عجیبی در ژنوم وجود دارد. کسی که نخستین بار پی به وجود این اعداد اول برده – مبنی بر این که خودبه‌خود نمی‌توانند وجود داشته باشند – به این فکر می‌افتد که از شیوه رمزشکنی بهره‌گیرد. از این جا به بعد خواندن متن کامل انگلیسی پروفیسور کریکسان، که در سراسر جهان پراکنده شده است، کار آسانی است.

تا مرکز و سامانه ژنتیکی ما، که سیستم فراگیر همه شکل‌های حیات بر روی زمین به‌شمار می‌آید، دیجیتالی است. می‌توانید تمامی کتاب انجیل را کلمه‌به‌کلمه در آن بخش‌هایی از ژنوم انسانی جای دهید (که هم‌اکنون با دی.ان.ای «بی‌رمزی» پر شده است – یعنی دی.ان.ای که بدن، دست‌کم به شیوه معمولی، از آن استفاده نمی‌کند. هر سلول بدن شما حاوی معادل چهل‌وشش نوار اطلاعات است که حروف دیجیتال را از طریق ابزار خوانشی عبور می‌دهند که به‌طور همزمان کار می‌کنند. در هر سلول این نوارها، کروموزوم‌ها، حاوی اطلاعات یکسانی‌اند، ولی ابزار خوانش در هر سلول متفاوت بخش‌های متفاوتی از بانک اطلاعاتی را برای مقاصد اختصاصی خودش جست‌وجو می‌کند. به همین علت است که سلول‌های عضلانی با سلول‌های کبدی تفاوت دارند. هیچ نیروی حیاتی متأثر از شور و نشاط روح، هیچ ژله تپنده، موج‌دار، سرزنده، پروتوپلاسمی و رازآمیزی وجود ندارد. حیات فقط از بایت‌ها تشکیل می‌شود و بایت‌ها اطلاعات دیجیتال‌اند.

ژن‌ها اطلاعات خالص‌اند – اطلاعاتی که بدون هیچ‌گونه افت کیفیت یا تغییر معنایی می‌توانند رمزگذاری، برنامه‌ریزی مجدد، و رمزگشایی شوند. از اطلاعات خالص می‌توان نسخه‌برداری کرد، و از آنجا که

اطلاعات دیجیتال است، ساماندهی نسخه‌برداری می‌تواند بسیار مطلوب باشد. حروف دی.ان.ای با چنان دقتی نسخه‌برداری می‌شوند که با هر چیزی که مهندسان امروزین می‌توانند انجام دهند برابری می‌کند. آن‌ها در طی نسل‌ها، با خطاهای گاه‌وبی‌گاهی که تنوع ایجاد می‌کند، نسخه‌برداری می‌شوند. در میان این تنوع، آن ترکیب‌های رمزگذاری شده که در جهان پرشماتر می‌شوند آشکارا و خودبه‌خود آن‌هایی خواهند بود که، وقتی درون بدن‌ها رمزگشایی می‌شوند و تحت فرمان درمی‌آیند، سبب می‌شوند آن بدن‌ها گام‌های فعالی را در جهت حفظ و تکثیر آن پیام‌های دی.ان.ای بردارند. ما – یعنی همه موجودات زنده – ماشین‌های زنده‌مانی (بقا) برنامه‌ریزی شده‌ایم تا آن بانک اطلاعاتی دیجیتالی را تکثیر کنیم که برنامه‌ریزی را انجام داده است. اکنون به‌نظر می‌رسد داروینیسیم، بقای زنده‌ماندگان در سطح رمز دیجیتال خالص است.

با گذشته‌نگری (درس گرفتن از گذشته) جز این نمی‌توانست باشد. یک دستگاه ژنتیکی آنالوگ را می‌توان تصور کرد. پیش از این دیدیم که بر سر اطلاعات آنالوگ چه خواهد آمد. وقتی در نسل‌های متوالی پیوسته نسخه‌بردای می‌شوند و این ماجرا یک شایعه چینی است.^۱

دستگاه‌های تلفن تقویت شده، کپی کردن نوارهای نسخه‌برداری شدهٔ مجدد، فتوکپی فتوکپی‌ها – سیگنال‌های آنالوگ چنان در برابر دقت، کیفیت انباشته آسیب‌پذیرند که نسخه‌برداری فراتر از تعداد محدودی از

۱. شایعه چینی یک بازی است که در یک جمع، یک نفر آهسته چیزی را در گوش نفر دیگر می‌گوید و او همان را در گوش نفر بعدی می‌گوید و این کار چندان ادامه می‌یابد تا به نفر آخر گروه برسد. در این موقع او آنچه را که شنیده است به صدای بلند می‌گوید. معمولاً چیزی که او می‌گوید با چیزی که نفر اول گفته است خیلی تفاوت دارد. م.

نسل‌ها نمی‌تواند ادامه یابد. از دیگر سو، ژن‌ها می‌توانند ده‌ها میلیون نسل خود را نسخه‌برداری کنند و به‌ندرت دستخوش افت کیفیت می‌شوند. داروین‌یسم مستقل از جهش‌های ژنتیکی گسسته که انتخاب طبیعی یا آن را از میان برمی‌دارد یا حفظ می‌کند - فقط از این بابت موفق است که فرایند نسخه‌برداری کامل است. فقط یک سیستم ژنتیکی دیجیتال قادر است داروین‌یسم را طی اعصار زمان زمین‌شناختی پایدار نگه دارد. سال‌هزار و نهصد و پنجاه‌وسه، سال کشف مارپیچ دوگانه، نه‌تنها به‌عنوان سال پایان آرای اسرارآمیز و تاریک‌اندیشانه در مورد حیات محسوب خواهد شد، بلکه داروین‌گرایان آن را همچون سالی خواهند دید که این مبحث سرانجام به‌سوی دیجیتالی شدن سیر خواهد کرد.

رودخانه اطلاعات دیجیتالی خالص، که در مقیاس زمانی زمین‌شناختی با شکوه و عظمت جاری است و به سه میلیارد شاخه تقسیم می‌شود، تصویر نیرومندی است. ولی این جنبه‌های آشنای حیات را در کجا می‌گذارد؟ بدن‌ها، دستان، پاها، چشم‌ها، مغزها، سبیل‌ها، برگ‌ها، تنه‌ها، و ریشه‌ها را کجا می‌گذارد؟ ما و اجزای بدنمان را در کجا می‌گذارد؟ آیا ما جانوران، گیاهان، تک‌یاختگان، قارچ‌ها، و باکتری‌ها - فقط سواحل هستیم که از طریق آن جویبارهای اطلاعات دیجیتال جریان می‌یابد؟ به یک معنی، آری. اما، همچنان‌که اشاره کردم، موضوع بیش از این‌هاست. ژن‌ها فقط نسخه‌های خودشان را تکثیر نمی‌کنند که در نسل‌های بعدی جریان می‌یابد، در واقع، آن‌ها زمان خویش را در بدن‌ها قرار می‌دهند و بر شکل و رفتار بدن‌های پی‌درپی، که خود را در آن‌ها می‌یابند، تأثیر می‌گذارند. بدن‌ها نیز اهمیت دارند.

مثلاً، بدن خرس قطبی فقط یک جفت ساحل رودخانه برای یک جویبار دیجیتالی نیست. ماشینی به همان پیچیدگی خرس هم هست. همه ژن‌های کل جمعیت خرس‌های قطبی مجموعه همدم‌های خوبی‌اند که در طی زمان با هم برخورد می‌کنند. ولی آن‌ها همیشه در همراهی همه اعضای دیگر این مجموعه نیستند: آن‌ها یاران خود را در درون آن گروهی که مجموعه است تغییر می‌دهند. مجموعه، بنابر تعریف، عبارت است از گروهی از ژن‌ها که بالقوه می‌توانند هرگونه ژن‌های دیگر در مجموعه را ملاقات کنند (ولی نمی‌توانند هیچ عضوی از سی میلیون مجموعه دیگر در جهان را ملاقات کنند). ملاقات واقعی همیشه درون یک سلول بدن خرس قطبی انجام می‌شود. و این بدن همیشه گیرنده منفعل دی.ان.ای نیست. اولاً، تعداد خالص سلول‌ها که در هریک از آن‌ها یک دست کامل از ژن‌ها یافت می‌شود، ذهن را گیج می‌کند: در حدود نهمصد میلیون میلیون در یک خرس بزرگ نر. اگر همه سلول‌های یک خرس قطبی را در یک خط ردیف کنید، این رشته به راحتی می‌تواند به کره ماه برود و بازگردد. شمار انواع مشخص این سلول‌ها دویست است، اساساً همان دویست نوع برای همه پستانداران: سلول‌های عضلانی، سلول‌های عصبی، سلول‌های استخوانی، سلول‌های پوستی، و مانند آن‌ها. سلول‌های هریک از این انواع مشخص با هم جمع شده‌اند تا بافت‌ها را بسازند: بافت عضلانی، بافت استخوانی و جز آن‌ها. همه انواع متفاوت سلول‌ها حاوی دستورعمل‌های ژنتیکی‌اند که برای ساختن هریک از انواع لازم است. فقط ژن‌های مناسب بافت مورد نظر فعال‌اند. به همین علت است که سلول‌های بافت‌های متفاوت به شکل و اندازه‌های مختلفی‌اند. نکته جالب‌تر آن‌که ژن‌های فعال در یک نوع بخصوص سبب می‌شوند

بافت‌های آن سلول‌ها به شکل معینی درآیند. استخوان‌ها توده‌ای بی‌شکل از بافت سخت و محکم نیستند. استخوان‌ها شکل‌های خاصی دارند، با میله بلند توخالی، مفصل کاسه ساچمه‌ای، تیره پشت، و مهمیز. سلول‌ها را ژن‌های فعال شده در درونشان برنامه‌ریزی کرده‌اند، تا چنان رفتار کنند که گویی می‌دانند در ارتباط با سلولهای مجاور کجا هستند، و به این ترتیب است که آن‌ها بافت‌های خود را به شکل نرمه گوش و دریچه‌های قلب، عدسی چشم و عضلات اسفنکتر می‌سازند.

پیچیدگی اندامگانی (موجود زنده‌ای) مانند خرس قطبی چندین لایه است. بدن آن، مجموعه پیچیده‌ای از اندام‌های دقیقاً شکل‌یافته، مانند کبد، کلیه‌ها و استخوان‌ها است. هر اندام، ساختمان پیچیده‌ای است که از بافت‌های معینی ساخته شده که واحدهای ساختمانی آن‌ها، سلول‌ها، اغلب به شکل لایه‌ها یا ورقه‌ها و نیز توده‌های جامدند. در مقیاس بسیار کوچک‌تری، هر سلول یک ساختمان درونی بسیار پیچده از غشاءهای چین‌خورده دارد. این غشاءها و آب میان آن‌ها، صحنه انواع متعدد و مشخص واکنش‌های شیمیایی پیچیده‌ای‌اند. شاید صدها واکنش شیمیایی مشخص درون یک کارخانه متعلق به آی.سی.آی یا یونیون کارباید در جریان باشد. این واکنش‌های شیمیایی را دیواره‌های ظروف، لوله‌ها و مانند آن‌ها از همدیگر جدا نگه داشته‌اند. در درون یک موجود زنده هم ممکن است همزمان تعداد مشابهی واکنش شیمیایی در جریان باشد. درون یک سلول زنده هم ممکن است همین تعداد واکنش‌های شیمیایی مشابه به‌طور همزمان جاری باشد. غشاءهای درون سلول تاحدی شبیه ظروف شیشه‌ای آزمایشگاه‌اند، ولی به دو دلیل این مقایسه، مناسب نیست. اولاً، هرچند بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در میان غشاءها

انجام می‌گیرند، تعداد زیادی هم در درون ماده خود غشاءها رخ می‌دهد. ثانیاً، شیوه مهم‌تری برای جدا نگه داشتن واکنش‌های مختلف در دسترس است. هر واکنش با آنزیم ویژه خودش فروکافت می‌شود. آنزیم، مولکول بسیار بزرگی است که شکل سه بعدی آن با ارائه سطحی که واکنش را تقویت می‌کند، نوع معینی از واکنش‌های شیمیایی را شتاب می‌بخشد. از آنجا که آنچه درمورد مولکول‌های زیستی اهمیت دارد شکل سه بعدی آن‌هاست، می‌توانیم آنزیم را ابزاری ماشینی به‌شمار آوریم که به‌دقت ساخته شده است تا خط تولید مولکول‌های دارای شکل معینی را راه اندازد. به این ترتیب، ممکن است درون هر سلول صدها واکنش شیمیایی جداگانه به‌طور همزمان و مجزا بر سطوح مولکول‌های آنزیم‌های مختلف در جریان باشد. این‌که در یک سلول مشخص چه واکنش شیمیایی معینی جاری است، بستگی دارد به این‌که چه نوع معینی از مولکول‌های آنزیم به تعدادی فراوان وجود دارد. هر مولکول آنزیم، از جمله مهم‌ترین عامل که شکل آن است، تحت تأثیر قطعی یک ژن معین ساخته می‌شود. به بیان دقیق‌تر، ردیف دقیق چند صد حرف رمز در ژن، ردیف اسیدهای آمینه را در یک آنزیم، از طریق یک دسته قواعدی که کاملاً شناخته شده‌اند (رمز ژنتیک)، تعیین می‌کند. هر مولکول آنزیم زنجیره‌ای خطی از اسیدهای آمینه است، و هر زنجیره خطی از اسیدهای آمینه خودبه‌خود به یک سازه سه بعدی بی‌مانند و مشخص، مانند یک گره، حلقه می‌زند که در آن بخشی از زنجیره با بخش‌های دیگر آن اتصال‌های عرضی تشکیل می‌دهد. ساختار سه بعدی دقیق ردیف اسیدهای آمینه را ساختار یک بعدی ردیف اسیدهای آمینه، و بنابراین، ردیف یک بعدی حروف رمز در ژن تعیین می‌کند. بنابراین،

واکنش‌های شیمیایی که در یک سلول انجام می‌گیرد، به این‌که چه ژنی فعال است، بستگی دارد.

پس، در یک سلول معین چه چیزی تعیین می‌کند که چه ژن‌هایی فعال‌اند؟ پاسخ، موادی شیمیایی است که پیشاپیش در سلول بوده‌اند. در این جا عنصری از تناقض مرغ-تخم مرغ پیش می‌آید، ولی برطرف‌نکردنی نیست. راستش، راه‌حل این تناقض اساساً خیلی آسان، اگرچه در جزئیات پیچیده، است. این راه‌حلی است که مهندسان کامپیوتر آن را خودراه‌اندازی می‌گویند. هنگامی که در دهه ۱۹۶۰ میلادی کاربرد کامپیوتر را آغاز کردم، همه برنامه‌ها را باید از طریق نوارهای کاغذی بارگیری می‌کردیم. (در آن زمان کامپیوترهای آمریکایی اغلب از کارت‌های سوراخ‌دار استفاده می‌کردند، ولی اصول کارکرد کامپیوترها یکی بود) و پیش از آن‌که بتوانید یک نوار بزرگ را بارگیری کنید، باید یک برنامه کوچک‌تر به نام بارکننده خودراه‌انداز (پیش‌راه‌انداز) را بارگیری کنید. بارکننده خودراه‌انداز برنامه‌ای بود که فقط یک کار می‌کرد: به کامپیوتر می‌گفت که چگونه نوارهای کاغذی را بارگیری کند. اما، در این جا تناقض مرغ-تخم مرغ پیش می‌آید، خود بارکننده خودراه‌انداز چگونه بارگیری می‌کرد؟ در کامپیوترهای امروزی، معادل بارکننده خودراه‌انداز در کامپیوتر سیم‌بندی شده است، ولی در آن روزگار اولیه باید با قطع و وصل کردن کلیدهایی در ردیفی معین، کار را شروع می‌کردند. این ردیف به کامپیوتر می‌گفت که چگونه خواندن اولین بخش نوار بارکننده خودراه‌انداز را شروع کند. سپس نخستین بخش نوار بارکننده خودراه‌انداز کمی بیشتر در مورد چگونگی خواندن بخش نوار بارکننده به آن می‌گفت، و به همین ترتیب پیش می‌رفت. پس از این‌که

بارکننده خود راه انداز کارش را انجام داده بود، کامپیوتر می دانست که چگونه هر نوار کاغذی را بخواند، و آن وقت به یک کامپیوتر مفید تبدیل شده بود.

وقتی فرا می رسد که یک جنین، یک تک سلول، تخمک بارور شده، به دو سلول تقسیم می شود؛ هریک از این دو به چهار سلول تقسیم، و هریک از چهار سلول به هشت سلول تقسیم می شود، و به همین ترتیب ادامه می یابد. تنها ده ها نسل طول می کشد تا تعداد سلول ها به تریلیون ها برسد که قدرت رشدنمایی همین است. اگر کار به همین جا ختم می شد، تریلیون ها سلول همه شبیه همدیگر بودند. پس چگونه است که آن ها به سلول های کبدی، سلول های کلیوی، سلول های عضلانی و جز آن ها (اگر اصطلاح فنی آن را به کار ببریم) متمایز می شوند؛ هر کدام با ژن های متفاوت و آنزیم های متفاوتی که فعال اند؟ با راه اندازی خودکار که به این ترتیب انجام می شود. هرچند تخمک مانند یک کره به نظر می آید، در واقع در شیمی درونی اش از قطبیت برخوردار است. تخمک یک بالا و پایین، و در موارد بی شماری نیز یک جلو و عقب (و بنابراین سمت چپ و راست) دارد. این قطبیت ها به شکل گرادیان (شیب) مواد شیمیایی بروز می یابند. غلظت برخی مواد شیمیایی، همچنان که از جلو به عقب می روید، و غلظت بعضی مواد دیگر، به هنگامی که از بالا به پایین می روید، به طور مداوم افزایش می یابد. این گرادیان های اولیه بسیار ساده اند، ولی برای کارکرد اولین مرحله خود راه اندازی کفایت می کنند.

وقتی تخمک مثلاً، به سی و دو سلول تقسیم می شود - یعنی، پس از پنج بار تقسیم - بعضی از این سی و دو سلول بیش از سهم منصفانه خود از مواد شیمیایی در قسمت بالایی را دارند، برخی دیگر بیش از سهم

منصفانه از مواد شیمیایی در قسمت پایین را خواهند داشت. سلول‌ها ممکن است از نظر مواد شیمیایی قسمت جلو و عقب نیز نامتوازن باشند. این تفاوت‌ها آنقدر هستند که به فعال شدن مجموعه مختلفی از آنزیم‌ها در سلول‌های متفاوت انجامند. بنابراین، مجموعه متفاوتی از آنزیم‌ها در سلول‌های بخش‌های متفاوت جنین اولیه وجود خواهند داشت. این جریان باعث می‌شود که مجموعه متفاوتی از ژن‌های بیشتر در سلول‌های مختلف فعال شوند. بنابراین، به جای این‌که سلول‌های درون جنین به نیاکان همانند خود شبیه باشند، دودمان‌های سلولی انشعاب می‌یابند.

این انشعاب‌های سلولی بسیار متفاوت‌تر از انشعاب گونه‌هاست، که پیش از این درباره‌اش صحبت کردیم. این انشعاب سلولی برنامه‌ریزی شده و در جزئیات خود قابل پیش‌بینی‌اند، درحالی‌که آن انشعاب‌های گونه‌ها تصادفی‌اند و در نتیجه اتفاقات زمین‌شناختی و غیرقابل پیش‌بینی بودند. افزون‌براین‌ها، هنگامی که گونه‌ها انشعاب می‌یابند، خود ژن‌ها نیز به شیوه‌ای منشعب می‌شوند که آن را خداحافظی طولانی می‌نامم. وقتی دودمان‌های سلولی در یک جنین انشعاب می‌یابند، هر دو انشعاب همان ژن‌ها، همه آن‌ها را، دریافت می‌کنند. ولی سلول‌های مختلف مجموعه مختلفی از مواد شیمیایی را دریافت می‌دارند، که مجموعه متفاوتی از ژن‌ها را فعال می‌کنند و بعضی از ژن‌ها به کار می‌افتند تا بعضی ژن‌ها را فعال یا غیرفعال کنند. به این ترتیب، خود راه‌اندازی ادامه می‌یابد تا این‌که مجموعه کاملی از انواع مختلفی سلول فراهم می‌آید.

جنین در حال رشد، فقط به چند صد نوع مختلف سلول تمایز نمی‌یابد. بلکه، شکل بیرونی و درونی آن دستخوش تغییرات پویا و ظریفی می‌شود. شاید چشمگیرترین این تغییرات ابتدایی‌ترینشان باشد:

فرایندی که گُمالگی^۱ نامیده می‌شود. لوئیس وُلپرت رویان‌شناس، تا آن‌جا پیش رفته است که می‌گوید: «تولد، ازدواج، یا مرگ واقعاً مهم‌ترین مرحله زندگی در حیات شما نیست، بلکه کُمالگی مهم‌ترین مرحله به‌شمار می‌آید». آنچه در کُمالگی رخ می‌دهد، از این قرار است که یک توده توخالی از سلول‌ها چین می‌خورند و فنجانی را با یک پوشش داخلی می‌سازند. اصولاً، تمام جنین‌ها در سراسر سلسله جانوران از این فرایند کُمالگی گذر می‌کنند. این فرایند بنیاد یکسانی است که تنوع جنین‌شناسی‌ها برپایه آن قرار دارد. در این‌جا فقط یک نمونه از کُمالگی را شرح می‌دهیم – به‌خصوص یک نوع چشمگیر آن را – از نوع حرکت بی‌قرار اوریگامی – مانند لایه‌های کامل سلول‌ها که اغلب در هنگام رشد جنین دیده می‌شود.

در پایان اجرای اوریگامی^۲ هنرمندانه. پس از بارها تا شدن، بیرون زدن، متورم شدن، و گسترده شدن لایه‌های سلول‌ها؛ پس از رشد متمایز بسیار پویا و هماهنگ بخش‌هایی از جنین، به هزینه بخش‌های دیگر آن؛ پس از متمایز شدن شیمیایی و فیزیکی به صدها نوع سلول تخصصی؛ و هنگامی که کل تعداد سلول‌ها به تریلیون‌ها رسیده است، محصول نهایی یک نوزاد است. خیر، حتی نوزاد نهایی نیست، زیرا تمامی رشد این فرد – باز هم در حالی که بعضی اجزاء سریع‌تر از اجزای دیگر رشد می‌کنند – که از مرحله بلوغ به سن پیری می‌رسد، باید همچون بسط همان فرایند جنین‌شناسی، جنین‌شناسی کلی، محسوب شوند.

افراد به علت تفاوت در جزئیات کمی در جنین‌شناسی کلی خودشان، با هم فرق دارند. یک لایه از سلول‌ها، پیش از آنکه بر روی خود تا شود،

1. gastrulation

2. origami (هنر کاغذ و تا)

کمی بیشتر رشد می‌کند؛ نتیجه چیست؟ به‌جای بینی سربالا، یک بینی عقابی؛ کف پای صاف، که ممکن است حیات کسی را با معاف شدن از سربازی نجات دهد؛ یک صورت‌بندی مشخص استخوان کتف که باعث می‌شود در افکندن نیزه (یا برحسب شرایطتان نارنجک، یا توپ کریکت) مهارت یابید. گاهی، تغییرات فردی در اورینگامی لایه‌های سلولی نتایج غم‌انگیزی دارد، مانند وقتی که یک نوزاد بدون دست و بازو به دنیا می‌آید. ممکن است نتایج تفاوت‌های فردی که خود را در اورینگامی لایه سلولی نشان نمی‌دهند ولی کاملاً شیمیایی‌اند، کم‌اهمیت‌تر نباشند: ناتوانی در گوارش شیر، بر خورداری از زمینه هم‌جنس‌گرایی، حساسیت داشتن به بادام‌زمینی، یا فکر اینکه انبه بوی زننده ترانستین می‌دهد.

رشد جنین عمل شیمیایی و فیزیکی بسیار پیچیده‌ای است. تغییر جزئیات در هر مرحله از دوران آن می‌تواند به نتایج چشمگیری در آینده آن انجامد. این جریان تعجب‌آور نیست، وقتی در نظر بگیرید که فرایند تا چه اندازه خودراه‌انداز است. بسیاری تفاوت‌هایی را که افراد در طی زمان پیدا می‌کنند، به علت وجود تفاوت در محیط زیست است – مانند محرومیت از اکسیژن یا اثر مصرف تالیدومید به وسیله مادر. تفاوت‌های بسیار دیگری به علت تفاوت در ژن‌هاست – فقط ژن‌ها به‌طور مجزا در نظر گرفته نمی‌شوند، بلکه در برهم‌کنش با ژن‌ها و با تفاوت‌های زیست‌محیطی. چنین فرایند پیچیده‌ای، زیابین^۱ و ظریف مانند رویش جنینی، به‌طور متقابل و پیچیده‌ای خودراه‌انداز، هم توانا و هم حساس است. از این‌رو تواناست که با تغییرات بالقوه زیادی می‌جنگد تا نوزاد زنده‌ای را تولید کند، که در تقابل با همه احتمالاتی است که گاهی به‌نظر

1. Kaleidoscopic

می‌رسد تقریباً درهم شکننده‌اند. درعین حال، نسبت به تغییرات حساس است، به این معنی که دو نفر، حتی دوقلوهای همسان^۱، در تمام خصوصیات خود به ظاهر همسان نیستند.

اکنون به نکته‌ای می‌پردازیم که همه این‌ها به آن منجر می‌شوند. تا حدی که تفاوت‌های میان افراد مربوط به ژن‌هاست (که ممکن است پردامنه و یا کم‌دامنه باشد)، انتخاب طبیعی می‌تواند به بعضی عجایب اوریگامی جنینی یا شیمی جنینی یاری رساند و یا به آن کمکی نکند. تا حدی که بازوی پرتاب‌کننده شما متأثر از ژن‌هاست، انتخاب طبیعی می‌تواند به آن یاری رساند یا نرساند. اگر توانایی ماهرانه پرتاب کردن بر روی احتمال زنده ماندن طولانی فرد اثری داشته باشد، هرچقدر هم جزیی، که فرزندی را بیاورد، تا حدی که توانایی پرتاب کردن تحت تأثیر ژن‌ها باشد، احتمالی زیادتری می‌رود که آن ژن‌ها به همین نسبت به نسل بعدی برسند. هر فرد ممکن است به دلایلی بمیرد که هیچ مربوط به توانایی پرتاب کردن او نباشد. ولی ژنی که، در هنگام حضور تا غیاب، افراد را در پرتاب کردن بهتر می‌کند، در نسل‌های بسیاری و در درون بدن‌های زیادی، چه خوب و چه بد، جای می‌گیرد. از دیدگاه یک ژن معین، علت‌های دیگر مرگ در حد میانگین قرار می‌گیرند. از چشم‌انداز ژن‌ها فقط دورنمای درازمدتی از رودخانه دی.ان.ای وجود دارد که درون نسل‌ها جاری می‌شود و فقط در بدن‌های معینی جای گرفته‌اند، فقط به‌طور موقت یک بدن را با ژن‌ها همراه^۲ به اشتراک می‌گذارند که ممکن است موفق یا ناموفق باشند.

در درازمدت، این رودخانه پر از ژن‌هایی می‌شود که به دلایل گوناگون

1. Identical twins

2. Companion

در زنده‌مانی کامیابند: بهبود جزئی در توانایی پرتاب نیزه، بهبود جزئی در توانایی چشیدن سم، یا هرآنچه ممکن است باشد. ژن‌هایی که، به‌طور متوسط، در زنده‌مانی کمتر تأثیر خوبی دارند – زیرا سبب دید آستیگمات در بدن‌های پیاپی می‌شوند، و بنابراین در پرتاب نیزه موفقیت کمتری دارند، یا این‌که بدن‌های پیاپی نسبت به آن‌ها جذابیت کمتری دارند و بنابراین احتمال کمتری دارد که جفت‌گیری کنند – چنین ژن‌هایی متمایل به ناپدید شدن از رودخانه ژن‌ها هستند. در همه این‌ها، نکته‌ای را که پیش از این گفتیم به یاد داشته باشید: ژن‌هایی که در این رودخانه زنده می‌مانند آن‌هایی‌اند که در زنده‌مانی در شرایط متوسط محیط زیست گونه‌ها خوب هستند، و شاید مهم‌ترین جنبه این شرایط متوسط محیط زیست ژن‌های دیگر این گونه‌ها باشند؛ ژن‌های دیگری که احتمال دارد یک ژن با آن‌ها در یک بدن مشترک باشد؛ ژن‌های دیگری که در دوران زمین‌شناختی در همان رودخانه شنا می‌کند.



همه آفریقا و فرزندان آن

اغلب تصور می‌شود بیان این نکته که دانشورزی^۱ چیزی بیش از اسطوره امروزی منشاء مانیس، هوشمندانه است. یهودیان آدم و حوا را داشتند، سومری‌ها مردوک و گیل‌گمش، یونانی‌ها زئوس و المپین‌ها، اسکاندیناوی‌ها والالا^۲ را. تکامل چیست؟ بعضی افراد هوشمند می‌گویند، چیزی جز معادل امروزی خدایان و اسطوره‌های حماسی نیست، نه بهتر و نه بدتر، نه حقیقی‌تر و نه کاذب‌تر. یک نوع فلسفهٔ محفلی مد روز به نام نسبیت فرهنگی ورد زبان‌هاست، و در افراطی‌ترین شکلش معتقد است که دانشورزی بیشتر از اسطوره‌های قبیله‌ای ادعای حقیقت‌گویی را ندارد: دانشورزی فقط اسطوره‌ای است که مورد توجه قبیله غربی امروزی^۳ است. یک‌بار یک همکار انسان‌شناس مرا تحریک کرد تا این نکته را به‌طور سراسر از این قرار بیان کنم: به او گفتم تصور کنید که قبیله‌ای وجود دارد که عقیده دارد ماه یک کدو قلیانی^۴ است که به آسمان پرتاب شده و در آسمان تقریباً کمی بالاتر از درختان آویزان است. آیا واقعاً می‌گویی که حقیقت علمی – که ماه به فاصلهٔ حدود چهارصد هزار کیلومتر از زمین و یک‌چهارم قطر آن – بیشتر از کدوی آن قبیله حقیقت ندارد؟ آن انسان‌شناس گفت: «بله، ما در فرهنگی پرورش

1. Science

2. Valhalla

3. Modern Western tirbe

4. Calabash

یافته‌ایم که جهان هستی را از زاویه علم می‌بیند. آن‌ها طوری پرورش یافته‌اند که جهان را به شیوه دیگری می‌بینند. هیچ‌کدام حقیقی‌تر از دیگری نیست.»

یک نسبیت‌گرای فرهنگی را در ده‌هزار متری زمین نشانم بدهید و من به شما نشان خواهم داد که او ریاکار و ظاهر‌ساز است. هواپیماها برطبق اصول علمی ساخته شده‌اند. آن‌ها در هوا می‌مانند و شما را به مقصد انتخابی می‌رسانند. هواپیماهایی که برحسب مشخصات قبیله‌ای یا اسطوره‌ای ساخته شده‌اند، مانند هواپیماهای ساختگی آذوقه‌پرستان^۱ در فضای باز جنگل‌ها یا بال‌های مومی ایکاروس چنین نمی‌کنند^۲. اگر برای شرکت در یک همایش انسان‌شناسان یا منتقدان ادبی با هواپیما می‌روید، دلیل این‌که احتمالاً به آن‌جا می‌رسید – یعنی در یک زمین شخم‌زده و

۱. Cargo cults. باوری که در جزایر اقیانوس آرام شایع است مبنی بر اعتقاد به رجعت ارواح نیاکان، با آذوقه و خوراکی و بارونه. م.

۲. این اولین باری نیست که من به این برهان قاطع متوسل می‌شوم و باید تأکید کنم که این استدلال دقیقاً متوجه کسانی است که مانند همکار انسان‌شناس من فکر می‌کنند. کسان دیگری هم هستند که خود را نسبیت‌گراهای فرهنگی می‌نامند؛ اگرچه دیدگاه‌هایشان به کلی متفاوت و کاملاً معقول است. در نزد آنان، نسبت فرهنگی فقط به این معناست که نمی‌توانید یک فرهنگ را بفهمید اگر سعی کنید باورهایش را برحسب فرهنگ خودتان تفسیر کنید. باید باورهای هر فرهنگ را در حوزه باورهای فرهنگ دیگر ببینید. گمان می‌برم که این شکل معقول نسبیت فرهنگی نوع اصلی، و موردی را که از آن انتقاد کردم نوع افراط‌گرایی آن است، اگرچه به‌نحو هشداردهنده‌ای نوع شایع و تحریف‌شده آن است. نسبیت‌گراهای معقول برای متمایز کردن خود از این نوع احمقانه آن باید سخت بکوشند. به‌ندرت یک سخنرانی عمومی ایراد می‌کنم بدون آن‌که یکی از مخاطبان چیزی شبیه همکار انسان‌شناس من نگوید، که معمولاً هم با زمزمه‌ای از تأیید همراه می‌شود. شکی نیست که تأییدکنندگان احساس خوبی دارند، آزاداندیش‌اند، و نژادپرست هم نیستند. حتی این جمله برای انگیزختن تأیید، قابل اطمینان‌تر است: «اصولاً، عقیده شما در مورد تکامل به ایمان برمی‌گردد، و بنابراین بهتر از کس دیگری نیست که به باغ عدن اعتقاد دارد».

سنگلاخی سقوط نکرده‌اید - از این قرار است که حساب و کتاب تعداد زیادی مهندس غربی با آموزش‌های علمی و فنی، درست بوده است. علم غربی برپایه این گواه درست که ماه در فاصله‌ای حدود چهارصد هزار کیلومتری زمین را دور می‌زند، با استفاده از کامپیوترها و موشک‌های ساخت غرب موفق شده است انسان را بر سطح ماه بنشانند. دانش قبیله‌ای^۱ که اعتقاد دارد ماه درست بالای درختان است، هیچ‌گاه نمی‌تواند خارج از دایره رؤیاهایش ماه را لمس کند.

هر قبیله‌ای اسطوره خودش را درباره پیدایش دارد - داستان خودش را برای جهان هستی، حیات و نوع آدمی دارد. در واقع، دانش هم معادل همین را ارائه می‌دهد، دست‌کم برای بخش تحصیل‌کرده جامعه جدید ما، یک معنی وجود دارد. حتی دانشورزی را می‌توان همچون مذهب توصیف کرد، و من نه کاملاً به شوخی، مورد مختصری را برای دانش به‌عنوان موضوع مناسبی برای کلاس‌های آموزش مذهبی منتشر کرده‌ام.^۲ (در انگلستان آموزش مذهبی از بخش‌های اجباری برنامه درسی مدارس است؛ برخلاف ایالات متحده آمریکا، که به‌خاطر ترس از ناراحت کردن مذاهبی که به‌طور متقابل با همدیگر ناسازگارند، این نوع آموزش ممنوع است). این ادعا در حوزه مذهب و علم مشترک است که پرسش‌های عمیق درباره منشاء، ماهیت حیات، و کیهان را پاسخ می‌دهد. ولی این تشابه و اشتراک در همین جا پایان می‌یابد. اعتقادات علمی به کمک شاهد و مدرک تأیید می‌شوند و نتیجه می‌دهند. اسطوره‌ها و مذاهب تأیید نمی‌شوند و نتیجه نمی‌دهند.

1. Tribal science

2. The Spectator (London), August 6, 1994.

از میان همه اسطوره‌های مربوط به پیدایش، داستان یهودیان دربارهٔ باغ عدن چنان در فرهنگ ما نفوذ کرده است که یک نظریه علمی مهم در مورد نیاکان ما، یعنی نظریه «حوای آفریقایی»، نام گرفته است. این فصل را به حوای آفریقایی اختصاص می‌دهم؛ بخشی به این علت که مرا قادر می‌سازد تمثیل رودخانه دی.ان.ای را تعمیم دهم، و قسمتی هم به این علت که می‌خواهم، به عنوان یک فرضیه علمی، با او به عنوان مادر همه افراد باغ عدن تخصم آرا داشته باشم. اگر موفق شوم، حقیقت را جالب‌تر از اسطوره خواهید یافت، حتی از دید شاعرانه آن را پراحساس‌تر خواهید یافت. با اقدام به استدلال خاص شروع خواهیم کرد. مناسبت آن به زودی آشکار خواهد شد.

شما دو پدر و مادر، چهار پدربزرگ و مادربزرگ، هشت پدر و مادر پدربزرگ و مادربزرگ دارید و به همین ترتیب الی آخر. با هر نسلی، تعداد نیاکان دو برابر می‌شود. به نسل g برگردید. تعداد نیاکان عبارت است از ۲ به توان g. در غیراین صورت، بدون ترک صندلی خود به سرعت می‌توانید ببینید که نمی‌تواند چنین باشد. برای متقاعد کردن خودمان در این مورد، فقط باید کمی به عقب برگردیم – به زمان حضرت مسیح، به طور دقیق حدود دو هزار سال پیش از این. اگر به طور محافظه کارانه‌ای چهار نسل را در هر قرن فرض کنیم – یعنی مردم به طور متوسط در سن بیست و پنج سالگی تولیدمثل می‌کنند – دو هزار سال فقط معادل هشتاد نسل می‌شود. احتمالاً رقم واقعی بیش از این است (تا زمان‌های اخیر بسیاری از زنان در نوجوانی زایمان می‌کردند)، ولی این فقط یک محاسبه سرانگشتی است، و بدون چنین جزئیاتی این نکته ثابت می‌شود. اگر عدد ۲ را ۸۰ بار ضربدر خودش کنیم، رقم بزرگی می‌شود: عدد ۱ و به دنبالش

۲۴ صفر. یک تریلیون تریلیون آمریکایی. یک میلیون میلیون میلیون میلیون نیاکانی را داشتید که معاصر عیسی مسیح بودند، و من نیز! ولی کل جمعیت جهان در آن زمان کسری از کسر قابل چشم‌پوشی از تعداد نیاکانی بود که ما اکنون محاسبه کردیم.

واضح است که در جایی اشتباه کرده‌ایم، ولی کجا؟ محاسبه را که درست انجام دادیم. تنها چیزی را که اشتباه کردیم فرضمان دربارهٔ دو برابر شدن جمعیت طی هر نسل بود. در واقع، فراموش کردیم عموزادگان و دایی‌زادگان هم ازدواج می‌کنند. فرض کردم که هرکدام هشت پدر و مادر پدربزرگ و مادربزرگ داریم. ولی هر فرزند اولین عموزاده و یا عمه‌زاده شش پدر و مادر پدربزرگ و مادربزرگ دارد، زیرا پدربزرگ و مادربزرگ مشترک عموزادگان و عمه‌زادگان از دو جهت جداگانه پدر و مادربزرگ پدر و مادر فرزندان خویش هستند. ممکن است بپرسد «خوب که چه؟». افراد که گاه با عموزاده و عمه‌زادگان خود ازدواج می‌کنند (همسر چارلز داروین، اما وج وود، اولین عموزاده‌اش بود)، ولی آیا این موضوع مطمئناً به قدر کافی رخ نمی‌دهد تا تفاوتی ایجاد کند؟ آری ایجاد می‌کند. زیرا «عموزاده‌ها و عمه‌زاده‌ها» در منظور ما دومین، پنجمین، شانزدهمین عموزادگان و عمه‌زادگان‌اند، و همین‌طور الی آخر. هنگامی که عموزادگان و عمه‌زادگانی را حساب می‌کنید که این قدر دورند، هر ازدواجی، ازدواج میان عموزادگان و عمه‌زادگان است. گاهی می‌شنوید که بعضی افراد مباحثات می‌کنند که عموزاده دور ملکه انگلستان هستند، ولی این از غرور آنهاست، زیرا همه ما، به طرق زیادی که نمی‌توان آن را ردیابی کرد، از عموزادگان دور ملکه انگلستان و هرکس دیگری هستیم. تنها چیز بخصوص در مورد خانواده‌های سلطنتی و اشراف این است که

آن‌ها می‌توانند این نسبت را به‌وضوح ردیابی کنند. هنگامی که یکی از مخالفان سیاسی چهاردهمین ارل هوم به این عنوان وی طعنه زد، گفت: «آقای ویلسون، به‌نظر من وقتی به این موضوع فکر کنید، چهاردهمین آقای ویلسون است.»

نتیجه همه این حرف‌ها از این قرار است که ما بیش از آنچه معمولاً فکر می‌کنیم عموزادگان و عمه‌زادگان بسیار نزدیک‌تری به همدیگر هستیم، بنابر محاسبات بسیار ساده نیاکان بسیار کم‌تری داریم. یک‌بار از یکی از شاگردانم خواستم یک حدس منطقی در این مورد بزنند که چه مدت پیش نیای مشترک اخیر او با نیای من زندگی می‌کرده است و دنبال این بودم که استدلال او در همین روال باشد. درحالی‌که سخت به چهره من نگاه می‌کرد، بدون تردید با صدای آهسته و روستایی پاسخ داد: «در زمان انسان‌نماها». یک پرش شهودی چشم‌پوشیدنی، ولی تقریباً ۱۰۰۰۰ درصد در اشتباه بود. این پاسخ یک جدایی چند میلیون ساله را نشان می‌دهد. واقعیت این است که اخیرترین نیایی که من و او به‌طور مشترک داشته‌ایم، احتمالاً دیرینه‌تر از چند قرن پیش زندگی نمی‌کرده است، به‌احتمالی بسیار بعد از ویلیام فاتح. علاوه‌بر آن، از بسیاری جهات، قطعاً همزمان عموزاده و عمه‌زاده بودیم.

مدل نیایی که منجر به اشتباه زیاد در محاسبه شماره نیاکانی شد یک درخت همیشه شاخه‌زن بود، که پیوسته شاخ‌شاخه می‌شد. اگر طرف دیگرش را بگیریم که آن هم به همین میزان اشتباه است، مدل درختی زادگان است. یک شخص معمولی دو فرزند، چهار نوه، هشت نواده دارد و به همین ترتیب، به تریلیون‌ها زادگان چند سده پس از آن می‌رسد. یک مدل بسیار واقعی‌تر از نیاکان و زادگان، رودخانه جاری ژن‌هاست، که در

فصل پیشین آوردیم. ژن‌ها در سواحل خود نه‌رهای همیشه جاری در زمان هستند. همچنان‌که ژن‌ها در رودخانه زمان با هم برخورد می‌کنند، جریان‌ها هم از یکدیگر جدا می‌شوند و دوباره به هم می‌پیوندند. در فواصلی از امتداد رودخانه، در نقاطی با فاصله از یکدیگر، سطلی را از آب پر کنید. جفت‌هایی از مولکول‌ها پیش از این در فواصلی طی حرکت خود در رودخانه کنار هم بوده‌اند، و باز هم با همدیگر خواهند بود. فاصله آن‌ها در گذشته، زیادی بوده است، و دوباره با فاصله زیادی از همدیگر جدا خواهند بود. ردیابی نقاط تماس دشوار است، ولی می‌توانیم از نظر ریاضی اطمینان یابیم که این تماس رخ خواهد داد – از نظر ریاضی مطمئنیم که اگر در یک نقطه مشخص دو ژن با هم تماس ندارند، مجبور نیستیم در هر جهت طول رودخانه حرکت کنیم تا بین آن‌ها دوباره تماس برقرار شود.

شاید ندانید که عموزاده و یا عمه‌زاده شوهرتان هستید، ولی از نظر آماری، این احتمال وجود دارد؛ نیازی نیست که خیلی به گذشته نیاکانتان برگردید تا به یک نقطه تقاطع با دودمان او برسید. با نگاه کردن در جهت دیگر، به سوی آینده، شاید مسلم به نظر برسد که از اقبال زیادی برای اشتراک زادگان با شوهر یا همسر خود برخوردار باشید. در این‌جا فکر بسیار جالب‌تری پیش می‌آید. دفعه آینده که در کنار گروه بزرگی از افراد قرار گرفتید – مثلاً، در یک سالن کنسرت یا در یک مسابقه فوتبال – به جمعیت پیرامونتان نگاه کنید و در این‌مورد بیندیشید: اگر در آینده‌ای دور هیچ زادگانی نداشته باشید، احتمالاً در همان کنسرت افرادی یافت می‌شوند که می‌توانید به‌عنوان نیای مشترک زادگان آینده‌تان دستشان را بفشارید. پدر و مادر بزرگ‌های مشترک همان کودکان معمولاً می‌دانند که

آن‌ها نیای مشترک‌اند، و این موضوع یک احساس معین پیوند به آن‌ها می‌دهد، که شخصاً بتوانند با هم راه بیایند. آنان می‌توانند به همدیگر نگاه کنند و به خود بگویند: «خوب، ممکن است من زیاد از او خوشم نیاید، ولی دی.ان.ای او با مال من در نوه‌های مشترکمان آمیخته است، و می‌توانیم امیدوار باشیم که در آینده، مدت‌ها پس از رفتن ما، زادگان مشترک داشته باشیم. قطعاً این موضوع پیوندی میان ما برقرار می‌کند.» ولی دیدگاه من این است، اگر سعادت داشته باشید که در آینده اصلاً زادگانی داشته باشید. برخی افراد کاملاً غریبه در سالن کنسرت احتمالاً در نیا با شما مشترک خواهند بود. می‌توانید سالن را از نظر بگذرانید و به هر نفر، زن یا مردی، فکر کنید که قرار است در زادگان با شما مشترک باشند و با نباشند. شما و من، هر کسی که هستید و از هر نژاد و جنسی هستید، ممکن است به خوبی نیاکان مشترکی باشیم، شاید مقدر باشد دی.ان.ای شما با دی.ان.ای من مخلوط شود. سلام بر شما!

حال تصور کنید با ماشین زمان به عقب برمی‌گردیم، شاید در میان جمعیتی در کولوسئوم^۱، یا حتی به عقب‌تر در بازار روز اور و یا حتی عقب‌تر جمعیت را زیر نظر بگیرید، درست همان‌طور که برای جمعیت کنسرت امروزی خود تصور کردیم. توجه داشته باشید که می‌توانید این افرادی را که مدت‌های زیادی است که در گذشته‌اند به دو گروه، و فقط دو گروه، تقسیم‌بندی کنیم: آن‌ها که نیاکان شما هستند و آن‌هایی که نیستند.

۱. Colosseum. ساختمان مدور و چندطبقه در روم که در قرن اول میلادی ساخته شد و بزرگ‌ترین تماشاخانه در امپراتوری روم بوده است. کولوسئوم نخستین آمفی‌تئاتر دائمی در روم باستان بود و در آن جا گلادیاتورها با یکدیگر یا با حیوانات وحشی می‌جنگیدند و اعدام‌ها نیز در آن جا انجام می‌شد. م.

این کاملاً واضح است، اما اکنون به حقیقت قابل توجهی می‌رسیم. اگر ماشین زمان شما را به قدر کافی به گذشته برده باشد، می‌توانید کسانی را که ملاقات می‌کنید به آن‌ها که نیای همه انسان‌های زنده در سال ۲۰۱۷ هستند و آن‌ها که نیای کسانی‌اند که در سال ۲۰۱۷ زنده نیستند تقسیم کنید. هیچ حد وسطی وجود ندارد. وقتی از ماشین زمان خود پا به بیرون می‌گذارید، چشمتان به هر کسی می‌افتد، یا یک نیای همگانی انسانی است و یا اصلاً نیای کسی نیست.

فکری جالب، اما اثباتش خیلی آسان است. آنچه باید انجام دهید این است که ماشین زمان ذهنی خود را به زمان خنده‌آور بسیار گذشته‌ای، مثلاً سیصد و پنجاه میلیون سال پیش از این، ببرید. هنگامی که نیاکان ما ماهی‌های پره‌باله^۱ شش‌دار بودند، و داشتند از آب بیرون می‌آمدند و دوزیستی می‌شدند. اگر ماهی معینی نیای من باشد، باورناکردنی نیست که نیای شما هم نباشد. اگر این‌طور نبود، دلالت دارد بر این‌که دودمانی که به شما می‌رسید و دودمانی که به من می‌رسید، به‌طور مستقل، بدون برخورد متقابل، از ماهی به دوزیست، خزنده‌ف پستاندار، نخست‌سان (نخستین)، انسان‌نما، و انسان، تکامل یافته و به قدری شبیه هم شده است که اکنون می‌توانیم با همدیگر گفت‌وگو، و اگر از جنس مخالف هستیم، با همدیگر جفت‌گیری کنیم. آنچه در مورد من و شما واقعیت دارد، در مورد هر زوج انسان هم صادق است.

ثابت کردیم که اگر به قدر کافی به زمان گذشته برگردیم، با هر فردی که مواجه می‌شویم یا باید نیای همه ما باشد و یا نیای هیچ‌کدام از ما. ولی چقدر به زمان گذشته باید برگردیم تا کافی باشد؟ واضح است که نیازی

1. lobe-finned

نیست تا دوران ماهی‌های پره‌باله برویم – این کار تعلیق به محال است – اما چقدر باید به عقب برگردیم تا اینکه به یک نیای فراگیر همه انسان‌های زنده در سال ۲۰۱۷ برسیم؟ این پرسش بسیار سخت‌تری است، و پرسشی است که بعد می‌خواهم به آن برسم. به این پرسش نمی‌توان همین‌طوری پاسخ گفت. ما به اطلاعات واقعی نیاز داریم، اندازه‌گیری‌هایی از دنیای سخت حقیقت‌های معین.

سر رونالد فیشر، ژنتیک‌دان و ریاضی‌دان توانمند، که می‌توان او را بزرگ‌ترین جانشین داروین در قرن بیستم و نیز پدر آمار جدید محسوب کرد، در سال ۱۹۳۰ گفته است:

فقط موانع جغرافیایی و موانع دیگر در آمیزش جنسی میان نژادهای گوناگون است... که تمامی بشریت را، جز هزاران سال گذشته، از داشتن یک نیای عملاً یکسان مانع می‌شود. نیای افراد یک ملت فراتر از ۵۰۰ سال می‌تواند تفاوت کمی داشته باشد؛ در ۲۰۰ سال تنها تفاوت‌هایی که به نظر می‌رسد باقی می‌ماند تفاوت‌های میان نژادهای مشخص مردم شناختی است؛ این‌ها... ممکن است واقعاً بی‌نهایت باستانی باشند، اما این موضوع فقط وقتی می‌تواند صحت داشته باشد در صورتی که برای دوران‌های طولانی اختلاط میان گروه‌های مجزا تقریباً موجود نباشد.

برحسب تمثیل رودخانه‌ای که گفتیم، در واقع فیشر از این حقیقت استفاده می‌کند که ژن‌های همه اعضای یک نژاد که از نظر جغرافیایی یکی هستند در همان رودخانه جریان دارند. اما وقتی او به اعداد واقعی

خود رسید - پانصد سال و دو هزار سال، قدمت جدایی گونه‌های مختلف - فیشر می‌باید یک تخمین اصولی زده باشد. حقایق مربوطه در زمان او در اور^۱ در دسترس نبود. اکنون با انقلاب زیست‌شناسی مولکولی شرمساری فراوانی رخ نموده است. این زیست‌شناسی مولکولی است که به ما حوای آفریقایی جذاب را عرضه کرده است.

رودخانه دیجیتال تنها تمثیلی نیست که به کار برده شده است. تشبیه دی.ان.ای در هر یک از ما یک انجیل خانوادگی و سوسه‌کننده است. دی.ان.ای یک متن طولانی است، که همان‌طور که در فصل پیشین دیدیم با یک الفبای چهارحرفی نوشته شده است. این حروف با دقت زیادی از نیاکان ما رونویسی شده‌اند، و فقط از نیاکان ما، با دقت چشمگیری حتی در مورد نیاکان بسیار دور ما رونویسی شده‌اند. با مقایسه متونی که نزد افراد مختلف محفوظ مانده است، باید این امکان وجود داشته باشد که عموزادگی آن‌ها را بازسازی کرد و به نیای مشترک رسید. عموزاده‌های بسیار دوری که دی.ان.ای آن‌ها مجال بیشتری داشته است تا انشعاب کند - مثلاً، نروژی‌ها و بومی‌های استرالیا - در تعداد بیشتری از کلمات با هم تفاوت دارند. پژوهشگران این نوع کارها را بانسخه‌های مختلف کتاب‌های انجیل انجام می‌دهند. متأسفانه در مورد بایگانی‌های دی.ان.ای یک گره وجود دارد و آن جنس^۲ است.

جنس کابوس بایگان‌ها است. به جای این‌که متون نیاکانی را، جز

۱. Ur. شهری باستانی در جنوب میانرودان در نزدیکی دهانه دو رود دجله و فرات در جنوب عراق. اور یکی از مهم‌ترین شهرهای تمدن سومر و اکد در ربع اول هزاره سوم پیش از میلاد بود.

2. sex

خطاهای اجتناب‌ناپذیر گاهی، دست‌نخورده باقی بگذارند، با انرژی و بدون فکر وارد می‌شوند و مدارک را نابود می‌کنند. هیچ نره گاوی در مغازه چینی فروشی همانند جنس به بایگانی دی.ان.ای آسیب نزده است. هیچ چیز شبیه آن در پژوهش‌های انجیل‌شناسی وجود ندارد. به‌طور مسلم پژوهشگری که دنبال ردیابی، مثلاً، منشاء غزل‌غزل‌های سلیمان است، آگاهی دارد که کاملاً این‌طور نیست که به‌نظر می‌رسد. این غزل قطعات از هم‌گسسته دارد، که نشان می‌دهد که واقعاً بخش‌هایی از چندین شعر مختلف است که فقط برخی از آن‌ها شهوانی است، و به‌هم بخیه زده شده‌اند.

این غزل دارای اشتباه‌هایی – جهش‌هایی – به‌ویژه در ترجمه است. «روبهان را برایمان بگیرید، روبهان کوچک را، که تاکستان‌های ما را ویران می‌کند». یک ترجمه اشتباه است، اگرچه تکرار ابدی آن از جذبه فراموش‌نشده خود برخوردار است، که احتمال نمی‌رود که همانند ترجمه صحیح‌تر آن «خفاش‌های میوه‌خوار را برایمان بگیرید، خفاش‌های میوه‌خوار کوچک...».

بین که زمستان گذشته است، باران تمام شد و رفت. گل‌ها بر زمین ظاهر می‌شوند؛ زمان آواز خواندن پرندگان آمده است، و صدای لاک‌پشت‌ها در روی زمین ما شنیده می‌شود.

این شعر چندان جذاب است که میل ندارم با ارجاع به این‌که در این جا هم بدون شک جهش وجود دارد، آن را خراب کنم. همان کاری که ترجمه‌های جدید به‌طور صحیح، اما بی‌روحیه می‌کنند؛ کبوترها را به‌جای لاک‌پشت‌ها بگذارید و می‌شنوید که آهنگ آن فرو می‌ریزد. اما این‌ها خطاهای کوچک و تغییرهای جزئی و گریزناپذیری‌اند که هنگامی

که سندهای ما در هزاران نسخه چاپ نشده است و یا بر روی دیسک‌های کامپیوتری با کیفیت خوب نقش نبسته است؛ بلکه از روی پاپیروس‌های کمیاب و آسیب‌پذیری توسط کاتبان میرایی رونویسی و بازنویسی شده است، باید انتظارش را داشته باشیم.

اکنون بگذارید جنس وارد این صحنه شود (نه، به مفهومی که منظور من است، جنس وارد غزل غزل‌ها نمی‌شود). معنی جنس به مفهوم مورد نظر من این است که نیمی از یک سند را، به شکل بخش‌هایی؛ با انتخاب توده‌ای، پاره و آن را با نیم دیگر از سندی که به‌طور مکمل پاره شده است، مخلوط کنند.

ظاهراً باورکردنی نیست – حتی ویرانگر است – که یک سلول جنسی چه موقع ساخته می‌شود؛ این است دقیقاً آنچه اتفاق می‌افتد. مثلاً، هنگامی که یک مرد یک سلول اسپرم می‌سازد، کروموزوم‌هایی که او از پدرش به ارث برده، با کروموزوم‌هایی که از مادرش به ارث برده است جفت می‌شوند، و مقدار زیادی از آن‌ها جایشان را تغییر می‌دهند. کروموزوم‌های یک کودک مخلوط ناجوری از کروموزوم‌های پدر بزرگ و مادر بزرگ است که به‌طور برگشت‌ناپذیری درهم‌ریخته است، و به همین ترتیب تا نیاکان دور خویش برمی‌گردد. از میان متونی که باستانی می‌شوند، حروف، صفحات، و حتی پاراگراف‌ها جدا و با چنان کارآیی بی‌رحمانه‌ای دوباره با هم ترکیب می‌شوند که به‌عنوان وسیله ردیابی تاریخ، آن‌ها تقریباً بی‌فایده‌اند. تا جایی که تاریخ نیاکانی مورد نظر است، جنس بزرگ‌ترین پنهان‌کاری به‌شمار می‌آید.

در هر جایی که جنس بدون خطر از صحنه خارج است، می‌توانیم بایگانی دی.ان.ای را به‌کار ببریم و تاریخ را بازسازی کنیم. می‌توانم دو

مورد مهم را مثال بزنم. یکی هم حوای آفریقایی است، که به آن خواهم پرداخت. مورد دیگر، بازسازی نیای دورتر است – نگاه به روابط در میان گونه‌هاست تا درون گونه‌ها. همان‌طور که در فصل پیشین دیدیم، آمیختگی جنسی^۱ فقط درون گونه‌ها انجام می‌گیرد. هنگامی که گونه‌های والدینی به گونه‌های فرزندی جوانه می‌زنند، رودخانه ژن‌ها به دو شاخه تقسیم می‌شود. پس از آن‌که به مدت کافی انشعاب یافتند، آمیختگی جنسی درون هر رودخانه، به هیچ‌وجه مانعی برای بایگان ژنتیکی نیست؛ در واقع به بازسازی نیاکانی و عموزادگی در میان گونه‌ها یاری می‌رساند. فقط هنگامی که عموزادگی در درون گونه‌ها مورد نظر است که جنس مدارک را درهم می‌ریزد. هنگامی که عموزادگی در میان گونه‌ها مورد نظر است، جنس یاری می‌رساند، زیرا به‌طور خودکار تضمین می‌کند که هر فرد نمونه ژنتیکی خوبی از تمامی گونه است. مهم نیست که چه سطل پری را از رودخانه‌ای که خوب مخلوط نگهداشته شده است، بیرون می‌کشید؛ این سطل آب نماینده آب آن رودخانه است.

در واقع، متون دی.ان.ای که از نمایندگان گونه‌های مختلف گرفته شده‌اند، با موفقیت زیاد مقایسه شده‌اند، حرف‌به‌حرف، تا آنکه درخت خانوادگی گونه‌ها را بازسازی کنند. برطبق یک مکتب فکری بانفوذ، حتی ممکن است انشعاب یافتن‌ها را تاریخ‌گذاری کرد. این فرصت به‌دنبال مفهوم بحث‌برانگیز «ساعت مولکولی» آمده است: این فرض که جهش‌ها در هر ناحیه از متن ژنتیکی در هر میلیون سال به میزانی ثابت رخ می‌دهد. به‌زودی به فرضیه ساعت مولکولی برمی‌گردیم.

«پاراگرافی» که در ژن‌های ما پروتئینی به نام سیتوکروم c را توصیف

1. Sexul mixing

می‌کند ۳۳۹ حرف دارد. تغییر دوازده حرف سیتوکروم c انسان را از ستوکروم c اسب‌ها، که عموزاده نسبتاً دور ماست، جدا می‌کند. تغییر فقط یک حرف در سیتوکروم c انسان‌ها را از میمون‌ها (که تقریباً عموزاده‌های بسیار نزدیک) از هم جدا می‌کند، و تغییر سه حرف اسب‌ها را از خوک‌ها (عموزاده‌های تا حدودی دورترشان) جدا می‌کند. تغییر چهل و پنج حرف انسان را از مخمرها و همین تعداد خوک‌ها را از مخمرها جدا می‌کند. عجیب نیست که این اعداد باید یکی باشند، زیرا همچنان‌که مارودخانه‌ای را که به انسان‌ها منتهی می‌شود، به سوی خلاف جریان آب دنبال می‌کنیم؛ به رودخانه‌ای که به خوک‌ها می‌انجامد بسیار اخیرتر می‌پیوندد تا رودخانه مشترکشان به رودخانه‌ای که به مخمرها منتهی می‌شود. به هر حال، در این اعداد انحراف کوچکی وجود دارد. تعداد تغییر حرف‌ها در سیتوکروم c که اسب‌ها را از مخمرها جدا می‌کند، چهل و پنج نیست بلکه چهل و شش است. این تفاوت به آن معنی نیست که خوک‌ها عموزاده نزدیک‌تر اسب‌ها هستند. آن‌ها دقیقاً به همان اندازه به مخمرها نزدیک‌اند، همچنان‌که همه مهره‌داران – و در واقع همه جانوران – هستند. شاید یک تغییر اضافی در زمانی نسبتاً جدید که اسب‌ها با خوک‌ها نیاکان مشترکی داشتند، به دودمانی وارد شد که به اسب‌ها منتهی می‌شد. این موضوع چندان مهم نیست. در مجموع، تعداد تغییرات حرف سیتوکروم c که جفت‌های موجودات را از هم جدا می‌کند، همان است که از نظریه‌های قبلی در مورد الگوی انشعاب درخت تکاملی انتظار داریم.

همان‌طور که گفته شد، نظریه تکاملی بر این است که میزان تغییر یک مقدار معین متن در هر میلیون سال تا حدودی ثابت است. تصور می‌شود که از چهل و شش تغییر حروف سیتوکروم c که اسب‌ها را از مخمرها جدا

می‌کند، در حدود نیمی از آن‌ها به هنگام تکامل از نیاکان مشترک به اسب‌های امروزی رخ داد و در حدود نیمی دیگر به هنگام تکامل از نیاکان مشترک به مخمرهای امروزی (واضح است که این دو مسیر تکاملی دقیقاً همان میلیون‌ها سال طول کشیده است). در نگاه اول، به نظر می‌رسد که فرض این موضوع چیز شگفت‌آوری باشد: مهم‌تر آن‌که، احتمال زیادی می‌رود که نیای مشترک بیشتر به مخمر شبیه بود تا به یک اسب. سازگاری میان این دو در این فرض قرار دارد، و از زمانی که ابتدا توسط ژنتیک‌شناس ژاپنی، موتوکیمورا، ارائه شد، به‌طور روزافزونی پذیرفته می‌شود که بخش عظیمی از متن‌های ژنتیک می‌تواند آزادانه تغییر یابد، بدون این‌که بر معنای متن تأثیر بگذارد. یک مثال مناسب در این مورد، تغییر شکل حروف در یک متن چاپی است:

«**اسب** یک پستاندار است»؛ «**مخمر** یک قارچ است». معنی این جمله‌ها روشن است، اگرچه هر کلمه با فونت متفاوتی چاپ شده است. باگذشت میلیون‌ها سال، ساعت مولکولی معادل تغییر بی‌معنی فونت‌ها تیک‌تیک می‌کند. این تغییرات در معرض انتخاب طبیعی است و آن تفاوت میان یک اسب و یک مخمر را توصیف می‌کند - تغییر در معنی جمله‌ها - نوک یخکوه است.

بعضی مولکول‌ها نسبت به دیگر مولکول‌ها میزان ساعت بالاتری دارند. سیتوکروم c نسبتاً آهسته تکامل می‌یابد: در حدود یک تغییر حرف در هر بیست‌وپنج میلیون سال. احتمالاً، دلیلش این است که اهمیت حیاتی سیتوکروم c برای زنده‌مانی یک اندامگاه به‌طور قاطعی به جزئیات شکل آن وابسته است. انتخاب طبیعی بیشتر تغییرات در چنین مولکولی را که شکل آن مهم است، تحمل نمی‌کند. پروتئین‌های دیگر، مانند آن‌ها

که فیبرینوپتید^۱ نامیده می شوند، اگرچه مهم اند، اما به شکل های مختلف زیادی به همان خوبی کار می کنند. فیبرینوپتیدها در لخته شدن خون مؤثرند و می توانید بیشتر جزئیات ساختمانی آن ها را بدون آسیب زدن به لخته شدنشان تغییر دهید. میزان جهش در این پروتئین ها در حدود یک تغییر در هر سیصد هزار سال است؛ میزانی که بیش از چهل بار سریع تر از سیتوکروم c است. بنابراین فیبرینوپتیدها برای بازسازی نیاکان دیرینه مفید نیستند، اگرچه برای بازسازی نیاکان اخیرتر – مثلاً، درون پستانداران مفید هستند. صدها پروتئین مختلف وجود دارد که هرکدام آهنگ در هر میلیون سال^۲ مشخص خودشان را دارند و هرکدام برای بازسازی درخت خانوادگی به طور مستقل قابل استفاده اند. همه آن ها تقریباً همان درخت خانوادگی را به دست می دهند – که در هر حال اگر برای واقعیت داشتن نظریه تکامل نیاز به مدرکی باشد، مدرک خوبی است.

با فهم این نکته که اختلاط جنسی سابقه تاریخی را به هم می ریزد به این بحث وارد شدیم. دو شیوه را بازشناختیم که با آن ها می شد از آثار جنس گریخت. اکنون در پی این حقیقت که جنس با ژن های میان گونه ها درهم نمی آمیزد، به یکی از آن ها پرداختیم. این موضوع امکان استفاده از ردیف های دی.ان.ای را، مدت های دراز پیش از آن که انسان های قابل تشخیصی باشیم، برای بازسازی درخت خانوادگی بسیار دیرینه نیاکان ما فراهم می آورد. ولی پیش از این توافق کردیم که اگر این مدت به عقب بازگردیم، همه ما انسان ها قطعاً از همان موجود تک سلولی به وجود آمده ایم. می خواستیم بدانیم که تا چه زمان نزدیکی می توانیم هنوز هم ادعای نیای مشترک با همه انسان های دیگر را ابراز داریم. برای کشف این

1. Fibrinopeptide

2. rate per million year

نکته باید به نوع متفاوتی از مدرک دی.ان.ای روی آوریم. در این جاست که حوای آفریقایی وارد داستان ما می شود.

حوای آفریقایی را گاهی حوای میتوکندریایی هم می نامند. میتوکندری ها اندام های ریز و بیضی شکلی اند که به تعداد هزاران عدد در هریک از سلول های ما یافت می شوند. آن ها در اصل خالی اند و درونشان ساختار پیچیده ای از تیغه های غشایی^۱ دارند. سطحی را که این غشاء ها ارائه می دهند بسیار بزرگ تر از چیزی است که از ظاهر خارجی میتوکندری تصور می شود، و این غشاء ها به مصرف می رسانند. این غشاء ها خط های تولید یک کارخانه شیمیایی، یا به بیان دقیق تر، یک نیروگاه به شمار می آیند. واکنشی زنجیره ای که به دقت تحت نظارت است در طول غشاء ها رخ می دهد - واکنشی زنجیره ای که شامل مراحل بیشتری از هر کارخانه شیمیایی در انسان است. نتیجه این واکنش از این قرار است که انرژی موجود در مولکول های غذایی در گام های کنترل شده آزاد شده و به شکل قابل باز مصرف برای سوختن در زمان های بعد، در هنگام نیاز و در هرجای بدن، آزاد می شود. بدون میتوکندری هایمان پس از یک ثانیه می میریم.

این است کار میتوکندری ها، ولی در این جا بیشتر به این کار داریم که آن ها از کجا می آیند. علی الاصول، یعنی در تاریخ تکاملی دیرینه، آن ها باکتری بودند. این نظریه قابل توجهی است که لینمارگلیس مشهور از دانشگاه ماساچوست در امهرست ارائه داده است، که ابتدا با مخالفت، سپس با بی علاقه گی، و پس از آن با پذیرش فراگیر و پیروزمندانه ای مواجه شد. دو میلیارد سال پیش از این، نیاکان دور میتوکندری ها باکتری های

1. Membranaceous baffles

آزاد-زی^۱ بودند. آن‌ها با انواع باکتری‌های دیگر درون سلول‌های بزرگ‌تر جای گرفتند. اجتماع حاصل باکتری‌های پیش‌هسته‌ای^۲ به سلول‌های بزرگ هو هسته‌ای^۳ تبدیل شدند که آن‌ها را سلول‌های خودمان می‌نامیم. هریک از ما اجتماعی از صدها میلیون میلیون سلول هو هسته‌ای هستیم که با هم وابستگی متقابل دارند. هریک از آن سلول‌ها اجتماعی از هزاران باکتری ویژه اهلی شده است، که به‌طور کامل در درون سلول‌ها احاطه شده‌اند و مانند باکتری‌ها تکثیر می‌شوند. محاسبه شده است که اگر همه میتوکندری‌ها در بدن یک انسان در کنار هم گذاشته شوند، آن‌ها نه یکبار، بلکه دو هزار بار کره زمین را دور می‌زنند. یک جانور یا گیاه، اجتماع بیکرانی از اجتماعات است که در لایه‌هایی برهم‌کنشی، مانند جنگل‌های انبوه، جای گرفته‌اند. اما خود جنگل‌های انبوه هم، اجتماعی از شاید ده میلیون گونه اندامگان است که هرکدام از هرگونه خودش اجتماعی از اجتماعات باکتری‌های اهلی شده است. نه تنها نظریه پیدایش دکتر مارگلیس – مبنی بر این‌که سلول‌ها همچون باغ‌های محصور باکتری‌ها هستند – به‌طور بی‌نظیری الهام‌بخش، هیجان‌آور، و نشاط‌بخش‌تر از باغ عدن‌اند، این مزیت اضافی را نیز دارند که قطعاً واقعی‌اند.

من هم مانند بیشتر زیست‌شناسان اکنون واقعیت نظریه مارگلیس را می‌پذیرم و در این فصل آن را فقط از این جهت می‌آورم که مفهوم ویژه‌ای

1. Free-living

۲. سلول‌های پیش‌هسته‌ای (Prokaryotic) سلول‌هایی‌اند که درون آن‌ها هسته واقعی و غشاء هسته‌ای وجود ندارد و مواد هسته‌ای در سراسر سلول پراکنده‌اند. م.

۳. سلول‌های هو هسته‌ای (Eukaryotic)، سلول‌هایی‌اند که هسته واقعی دارند که غشایی آن‌ها را احاطه کرده است. م.

را دنبال کنم: میتوکندری‌ها دی.ان.ای خود را دارند، که مانند باکتری‌های دیگر منحصر به یک کروموزوم تک حلقه است.

اکنون به مطلبی می‌رسم که همه این‌ها به آن مربوط می‌شود. دی.ان.ای میتوکندریایی در هیچ اختلاط جنسی وارد نمی‌شود. چه با دی.ان.ای «هسته» ای اصلی بدن یا با دی.ان.ای میتوکندری‌های دیگر. میتوکندری‌ها مانند باکتری‌ها فقط از طریق تقسیم تکثیر می‌شوند. هروقت میتوکندری به دو میتوکندری فرزند تبدیل می‌شود، هر فرزندی یک نسخه همانند از کروموزم اصلی به دست می‌آورد - کم‌و بیش با جهش‌های عجیب. از دیدگاه ما به عنوان تبارشناس‌هایی با شعاع عمل طولانی، اکنون زیبایی این موضوع را می‌بینید. ما پی بردیم تا جایی که به متون دی.ان.ای معمولی ما مربوط می‌شود، در هر نسل جنس مدارک را به هم می‌ریزد و سهم طرف پدری و مادری را آشفته می‌کند. دی.ان.ای میتوکندریایی خوشبختانه مجرد است.

ما میتوکندری خود را فقط از مادر می‌گیریم. اسپرم چندان کوچک است که بیش از چند میتوکندری نمی‌تواند در آن جای گیرد. اسپرم مقداری میتوکندری دارد که انرژی برای نیرو دادن به دمشان را در هنگام شنا کردن به سوی تخمک فراهم آورد، و این میتوکندری‌ها در زمان بارور کردن، پس از اینکه سر اسپرم در تخمک جذب شد همراه با دم اسپرم دور انداخته می‌شوند. تخمک در مقایسه با اسپرم حجیم است و درون بزرگ و پر از مایع آن حاوی یک کشت غنی از میتوکندری است. این کشت بدن کودک را می‌سازد. بنابراین، چه مؤنث و یا مذکر باشید، همه میتوکندری‌های شما از مایه اولیه میتوکندری مادران ناشی شده است. هیچ‌کدام از آن پدرتان، پدربزرگتان، و پدربزرگ مادری‌تان نیست.

میتوکندری‌ها یک بایگانی مستقل از گذشته را تشکیل می‌دهند، و با دی.ان.ای هسته‌ای اصلی آلوده نشده است که احتمالاً به‌طور مساوی از هریک از چهار پدر و مادر بزرگ و هشت پدر و پدر بزرگ و مادر بزرگ، و همین‌طور الی آخر، می‌آید.

دی.ان.ای میتوکندری آلوده نیست، ولی در برابر جهش‌ها، خطاهای تصادفی در رونویسی، مصونیت ندارد. در واقع، با آهنگ بالاتری از دی.ان.ای «خودمان» جهش می‌یابد، زیرا (همان‌طور که در مورد همه باکتری‌ها معمول است) فاقد ماشین غلط‌گیری پیشرفته‌ای است که سلول‌های ما در طی میلیاردها سال پیدا کرده‌اند. تفاوت‌های چندی میان دی.ان.ای شما و من وجود دارد، و شماره این تفاوت‌ها معیار این است که نیاکان ما در چه زمانی در گذشته از هم منشعب و جدا شدند. نه هریک از نیاکان ما، بلکه نیاکان ما در خط مؤنث، مؤنث، مؤنث... اگر مادر شما یک بومی اصیل استرالیایی، یا یک چینی اصیل، یک کانگ سان از صحرای کالاهاری باشد، تفاوت‌های نسبتاً زیادی میان دی.ان.ای میتوکندری شما و من برقرار خواهد بود. مهم نیست که پدر شما چه کسی باشد: ممکن است یک نجیب‌زاده انگلیسی و یا یک رئیس قبیله سیو باشد، زیرا همه تفاوت‌ها را میتوکندری مادری می‌سازد. و همین امر در مورد همه نیاکان مذکر شما مصداق دارد. بنابراین، کتاب میتوکندریابی جداگانه‌ای وجود دارد که در کنار انجیل خانوادگی دست‌به‌دست می‌شود؛ با این مزیت بزرگ که فقط در مسیر جنس مؤنث ادامه می‌یابد. این دیدگاهی جنسیتی نیست، اگر هم فقط در جنس مذکر ادامه می‌یافت به همان خوبی بود. مزیت آن در دست‌نخورده‌گی‌اش است؛ این میتوکندری در هر نسل بریده و به‌هم‌پیوسته نشده است. توارث یک‌دست یا از طریق جنس و نه از

طریق هر دو، چیزی است که ما تبارشناسان دی.ان.ای لازم داریم.

کروموزوم Y که مانند نام خانوادگی فقط توسط جنس مذکر انتقال داده می‌شود، به طور نظری به همان خوبی است، ولی اطلاعات خیلی کمی دارد تا بتواند مفید باشد. کتاب میتوکندریایی برای تاریخ‌گذاری نیاکان مشترک درون یک گونه کمال مطلوب است. از دی.ان.ای میتوکندریایی توسط گروهی از پژوهشگران مربوط به مرحوم الان ویلسون در برکلی کالیفرنیا استفاده شده است. در سال ۱۹۸۰ ویلسون و همکارانش از ردیف میتوکندری ۱۳۵ زن زنده در سراسر جهان نمونه‌برداری کردند؛ بومیان استرالیایی، کوه‌نشینان گینه جدید، بومیان آمریکایی، اروپایی‌ها، چینی‌ها و نمایندگان از مردم گوناگون آفریقا. آنان به تعداد متفاوت حروفی که هر زن را از زن دیگری جدا می‌کند، نگاه کردند. آن‌ها این اعداد را به یک کامپیوتر خوراندند و از آن خواستند تا صرفه‌جویانه‌ترین^۱ درخت خانوادگی را که می‌تواند، بسازد. در اینجا، منظور از «صرفه‌جویانه» این است که حتی الامکان نیاز به فرض تصادف را کنار بگذارد. این موضوع به مقداری توضیح نیاز دارد.

به بحث قبلی‌مان در مورد اسب‌ها، خوک‌ها، و مخمرها و تجزیه ردیف حروف سیتوکروم c فکر کنید. به خاطر دارید که تفاوت اسب‌ها با خوک‌ها در این حروف فقط در سه تا از آن‌هاست؛ خوک‌ها در چهل و پنج حرف با مخمرها تفاوت دارند، و اسب‌ها با مخمرها در چهل و شش حرف متفاوت‌اند. این نکته را گفتیم که از لحاظ نظری از آن‌جا که اسب‌ها و خوک‌ها توسط یک نیاکان مشترک نسبتاً اخیر به همدیگر پیوسته‌اند، باید دقیقاً به همان فاصله از همدیگر جدا باشند. تفاوت میان چهل و پنج و

1. Most parsimonious

چهل و شش یک ناهنجاری است؛ چیزی که در یک جهان دلخواه پیش نمی‌آمد. ممکن است به علت یک جهش اضافی در مسیر اسب‌ها و یا یک جهش معکوس در جهت خوک‌ها باشد.

حال در عالم نظر قابل تصور است که خوک‌ها واقعاً به مخمرها نزدیک‌تر باشند تا به اسب‌ها، هرچند این نظریه در واقع نامعقول به نظر می‌رسد. از دیدگاه نظری، ممکن است شباهت نزدیک خوک‌ها و اسب‌ها به یکدیگر در بستر تصادفی عظیم تکامل یافته باشد (متن سیتوکرم c آن‌ها فقط سه حرف از هم جداست و بدن آن‌ها در اصل بسیار شبیه الگوی پستانداران ساخته شده است). علت این‌که این امر را باور نداریم، از این قرار است که طرز شباهت خوک‌ها به اسب‌ها بسیار بیشتر از طرز شباهتی است که خوک‌ها با مخمرها دارند. واضح است که فقط یک حرف دی.ان.ای وجود دارد که به نظر می‌رسد خوک‌ها به مخمرها نزدیک‌ترند تا اسب‌ها؛ ولی این مورد در میلیون‌ها شباهتی غرق شده است که از طرف دیگر با اسب‌ها برقرار است. این بحث از نظر صرفه‌جویی است. اگر فرض کنیم که خوک‌ها به اسب‌ها شبیه‌اند، نیاز به قبول فقط یک شباهت اتفاقی داریم. اگر به این فرض اقدام کنیم که خوک‌ها به مخمرها شبیه‌اند، باید رشته‌ای بسیار غیرواقعی از شباهت‌های اتفاقی را فرض کنیم که به‌طور مستقل حاصل شده‌اند.

در مورد اسب‌ها، خوک‌ها و مخمر، استدلال صرفه‌جویی بیش از حد نیرومند است تا بتوان در آن شک کرد. ولی در دی.ان.ای میتوکندری‌های نژادهای گوناگون انسان چیز نیرومندی برعلیه شباهت وجود ندارد. استدلال صرفه‌جویی هنوز هم کاربرد دارد، ولی این‌ها استدلال‌هایی جزئی و کمی هستند، نه استدلال‌های انبوه و قاطع. این است کاری که

کامپیوتر باید در عالم نظر انجام دهد. کامپیوتر باید فهرستی از همه درختان خانوادگی احتمالی را فراهم آورد که ۱۳۵ زن به آن مربوط می‌شوند. سپس این گروه درختان خانوادگی را بررسی و صرفه‌جویانه‌ترین آن‌ها را انتخاب می‌کند؛ یعنی آن‌ها که شماره شباهت‌های اتفاقی را به حداقل می‌رسانند. باید بپذیریم که حتی بهترین درختان خانوادگی شاید ما را مجبور کند که تعداد کمی از شباهت‌های اتفاقی را بپذیریم، همان‌طور که مجبور شدیم این حقیقت را بپذیریم که باتوجه به یک حرف دی.ان.ای، مخمرها به خوک‌ها نزدیک‌ترند تا به اسب‌ها. اما، دست‌کم از لحاظ نظری، کامپیوتر باید بتواند آن را انجام دهد و به ما اعلام کند کدام یک از درختان احتمالی فراوان صرفه‌جویانه‌ترین، و کم‌اتفاقی‌ترین آن‌هاست.

این امر در عالم نظر اتفاق می‌افتد. در عمل یک مانع وجود دارد. تعداد احتمالی درختان بیشتر از آن است که شما، یا من، و یا هر ریاضی‌دانی بتوانیم به تصور آوریم. برای اسب، خوک و مخمر فقط سه درخت امکان‌پذیر است. مسلم است که صحیح آن [[خوک اسب] مخمر] است، درحالی‌که خوک و اسب با یکدیگر درون یک گروه قرار دارند و مخمر به‌عنوان یک «گروه خارجی» نامرتبط. دو درخت خانوادگی دیگر از لحاظ نظری [[خوک مخمر] اسب] و [[اسب مخمر] خوک] است. اگر موجود چهارمی، مثلاً ماهی مرکب^۱، را به آنها اضافه کنیم، شماره درختان خانوادگی به پانزده می‌رسد. من همه این پانزده درخت را برنمی‌شمرم، ولی واقعی‌ترین (صرفه‌جویانه‌ترین) آن‌ها [[خوک اسب] ماهی مرکب

1. Squid

[مخمر] است. باز هم خوک و اسب، به عنوان بستگان نزدیک، به راحتی در داخلی ترین گروه کنار هم جای می گیرند. ماهی مرکب موجود بعدی است که به گروه می پیوندد، که نیای اخیرتری مشترک با دودمان خوک / اسب دارد تا مخمر. هریک از چهارده درخت دیگر، مثلاً [[خوک ماهی مرکب]] اسب مخمر]، قطعاً کمتر صرفه جویانه است. اگر خوک واقعاً عموزاده نزدیک تری به ماهی مرکب و اسب واقعاً عموزاده نزدیک تری به مخمر بود، بسیار نامحتمل است که خوک و اسب توانسته باشند به طور مستقل شباهت های بی شمار خود را در فرایند تکامل یافته باشند.

اگر سه موجود سه درخت ممکن، و چهار موجود پانزده درخت ممکن را ارائه دهند، چند درخت ممکن می توان برای صدوسی و پنج زن ساخت؟ پاسخ چنان عدد بزرگ خنده آوری است که نیازی نیست نوشته شود. اگر قرار باشد بزرگ ترین و سریع ترین کامپیوترهای جهان برای تهیه فهرست تمام درخت های ممکن کار کنند، پیش از آن که کامپیوتر کار قابل فهمی انجام داده باشد، پایان جهان فرا رسیده است.

در هر حال، این موضوعی نومیدکننده نیست. عادت داریم تا اعداد بینهایت بزرگ را با شیوه های نمونه برداری صحیح مهار کنیم. نمی توانیم شماره حشره ها را در حوزه رودخانه آمازون بشمریم، ولی می توانید تعداد آن ها را در نواحی کوچکی که به طور اتفاقی در جنگل مشخص شده تخمین بزنیم و فرض کنیم که این نواحی نماینده جنگل اند. کامپیوتر مانمی تواند تمام درختان احتمالی را بررسی کند که ۱۳۵ زن را به همدیگر پیوند می دهند، ولی می تواند از گروه تمام درختان احتمالی نمونه های تصادفی بیرون بکشد. هرگاه میلیارد ها میلیارد درخت احتمالی نمونه برداری کردید، پی بردید که صرفه جویانه ترین افراد این نمونه در

خصایص معینی مشترکند، می‌توانید نتیجه بگیرید که احتمال می‌رود صرفه‌جویانه‌ترین همه درختان خصایص یکسانی دارند.

این همان کاری است که انجام شده است، ولی لزوماً مشخص نیست که بهترین روش انجام آن کدام است. درست همان‌طور که حشره‌شناسان ممکن است در مورد بهترین روش نمونه‌برداری از جنگل‌های بارانی آمازون، که نماینده آن باشد، به توافق نرسند. به همین ترتیب، تبارشناسان^۱ دی.ان.ای روش‌های نمونه‌برداری متفاوتی را به کار برده‌اند. متأسفانه نتایج همیشه با هم سازگار نیستند. با این حال، ارزشش را داشته باشد یانه، من نتایج گروه برکلی را در تجزیه و تحلیل اصلی خود از دی.ان.ای میتوکندریایی انسان ارائه می‌دهم. نتایج آن‌ها بی‌نهایت جالب و تحریک‌آمیز بود. بنابر پژوهش‌های آنان، معلوم شد صرفه‌جویانه‌ترین درخت در افریقا ریشه استواری دارد. منظور این است که بعضی آفریقایی‌ها نسبت دورتری با آفریقایی‌های دیگر دارند تا هرکس دیگری در نقاط دیگر کره زمین. بقیه کل جهان – اروپایی‌ها، آمریکایی‌های بومی، بومیان استرالیا، چینی‌ها، گینه جدید، اینوئیت‌ها^۲ که همه از یک گروه نسبتاً نزدیک عموزادگان‌اند. بعضی آفریقایی‌ها به این گروه نزدیک تعلق دارند. ولی آفریقایی‌های دیگر خیر. برطبق این پژوهش، صرفه‌جویانه‌ترین درخت این‌طور به نظر می‌آید: [بعضی آفریقایی‌ها [آفریقایی‌های دیگر]] باز هم آفریقایی دیگر [باز هم آفریقایی‌های دیگر و هرکس دیگر]]]. بنابر این، نتیجه گرفتند که نیاکان بزرگ همگی ما در

1. Genealogists

۲. Inuits. بومیان مناطق شمال آمریکا و کانادا و گرینلند، که از فرهنگ مشابهی برخوردارند. م.

آفریقا زندگی می‌کردند: «حوای آفریقایی». همان‌طور که گفته‌ام، این نتیجه بحث‌انگیز است. کسان دیگری ادعا کرده‌اند که درختان صرفه‌جویانه را به یکسان می‌توان پیدا کرد که دورترین شاخه‌های آن خارج از آفریقا است. آنان همچنین ادعا می‌کنند که گروه برکلی آن نتایج معینی را که گرفتند، بیشتر به علت ترتیب نگریستن کامپیوترهایشان به درختان احتمالی بود. مسلم است که ترتیب نگریستن نباید اهمیتی داشته باشد. به احتمالی بیشتر، کارشناسان هنوز هم بر سر این که حوای میتوکندریایی آفریقایی است شرط می‌بندند، ولی با اعتماد زیاد چنین نمی‌کنند.

دومین نتیجه گروه برکلی، کمتر بحث‌برانگیز است. اهمیتی ندارد که حوای میتوکندریایی کجا می‌زیسته است، آن‌ها توانستند تخمین بزنند که چه موقع زندگی می‌کرده است. سرعت تکامل میتوکندریایی شناخته شده است، بنابراین می‌توانید یک تاریخ تقریبی بر روی هر نقطه انشعاب در روی درخت انشعاب دی.ان.ای میتوکندریایی بگذارید.

و نقطه انشعابی که تمام جنس زن را متحد می‌کند، یعنی تاریخ تولد حوای میتوکندریایی، میان صد و پنجاه هزار تا دویست و پنجاه هزار سال پیش از این است.

چه حوای میتوکندریایی آفریقایی بوده باشد یا نه، مهم آن است که از یک سردرگمی احتمالی با مفهوم دیگری اجتناب کنیم که بدون شک واقعیت دارد و آن از این قرار است که نیاکان ما از آفریقا آمده‌اند. حوای میتوکندریایی نیای اخیر همه انسان‌های امروزی است. او عضوی از گونه انسان هوشمند^۱ (انسان اندیشه‌ورز) است. سنگواره‌های انسانیان^۲ بسیار بیشتر، یعنی انسان راست قامت^۳ در خارج و نیز در داخل آفریقا یافته شده

1. Homosapiens

2. Hominids

3. Homo erectus

است. سنگواره‌های نیاکان حتی دورتر از انسان راست قامت، مانند انسان ماهر^۱ و گونه‌های مختلف استرالو پیتکوس (از جمله یکی که به تازگی کشف شده و مربوط به بیش از چهار میلیون سال پیش از این است) فقط در آفریقا یافته شده‌اند. بنابراین، اگر ما از زادگان یک جامعه مهاجر از آفریقا در دویست و پنجاه هزار سال گذشته هستیم، این دومین مهاجرت از آفریقا است. پیش‌تر از آن یک خروج عظیم اتفاق افتاده بود، شاید یک میلیون و نیم سال پیش، به هنگامی که انسان راست قامت به بیرون از آفریقا راه افتاد تا در بخش‌هایی از خاورمیانه و آسیا سکونت گزینند. نظریه حوای آفریقایی ادعا نمی‌کند که این آسیایی‌های اولیه وجود نداشتند، بلکه از آن‌ها زادگانی برجای نمانده است. از هر جهتی به آن نگاه کنید، اگر دو میلیون سال به عقب برگردید، همه ما آفریقایی هستیم. علاوه بر آن، نظریه حوای آفریقایی ادعا می‌کند که، اگر فقط چند صد هزار سال به عقب بازگردید، همه ما انسان‌های زنده مانده همگی آفریقایی هستیم. باید امکان داشته باشد، اگر مدارک جدید آن را تأیید کنند، که همه دی.ان.ای میتوکندریایی امروزی را به یک نیا در خارج از آفریقا (مثلاً «حوای آسیایی») ردیابی کرد و در همان حال توافق داشت که نیاکان دورتر ما را باید فقط در آفریقا یافت.

برای یک لحظه فرض کنید که گروه برکلی درست می‌گوید و نتایج آن‌ها را بررسی کنیم و ببینیم چه چیزهایی را معنی می‌دهد یا نمی‌دهد. لقب «حوای» نتایج ناخوشایندی هم داشته است. بعضی از طرفداران آن این عقیده را پیدا کردند که او باید یک زن تنها بوده باشد، تنها زن روی زمین، تنگنای نهایی ژنتیکی، حتی تأیید سفر پیدایش تورات! این یک بدفهمی

1. Homo habilis

کامل است. ادعای صحیح این نیست که او تنها زن روی زمین بود، و یا این که حتی جمعیت در زمان او نسبتاً کم بود. معاصران او، از هر دو جنس ممکن است بی شمار و باثمر بودند. ممکن است هنوز هم امروزه زادگان زنده بی شماری داشته باشند. اما همه زادگان میتوکندری هایشان اکنون مرده اند، زیرا ارتباط آن ها با ما، در بعضی نقاط، از طریق یک مرد است. به همین ترتیب، یک نام خانوادگی شریف (نام های خانوادگی به کروموزوم Y مرتبط اند و فقط از طریق جنس مذکر به طور دقیق به شکل تصویر آینه وار میتوکندری ها انتقال می یابند.) می تواند منقرض شود، ولی این به معنای آن نیست که صاحب آن نام خانوادگی زادگانی نداشته باشد. ممکن است آن ها از مسیرهای دیگری، جز مسیر فقط – مذکر، زادگان بی شماری داشته باشند. ادعای درست این است که فقط حوای میتوکندریایی اخیرترین زنی است که درباره اش می توان گفت که همه انسان های امروزی، در مسیر فقط – مؤنث، از او منشاء گرفته اند. باید زنی باشد که بتوان درباره اش این ادعا را کرد. فقط بحث در این است که آیا او در این جا زندگی می کرد یا در آن جا، در این زمان زندگی می کرد یا آن زمان. این حقیقت که او در مکانی و در زمانی می زیست قطعی است.

در این جا دومین بدفهمی را می بینید، که شایع تر است، و شنیده ام که حتی دانشوران برجسته در زمینه دی.ان.ای میتوکندریایی نیز مرتکب می شوند. این باوری است که حوای میتوکندریایی اخیرترین نیای مشترک ماست. این برمبنای یک سردرگمی میان «اخیرترین نیای مشترک ما» و «اخیرترین نیای مشترک ما فقط در جنس مؤنث» است. حوای میتوکندریایی، اخیرترین نیای مشترک ما، فقط در جنس مؤنث است، ولی راه های بسیار دیگری برای زاده شدن از افراد، جز از جنس مؤنث،

میلیونها روش دیگر، هم وجود دارد. به محاسبات درباره شماره نیاکانمان بازگردید (مشکلات ازدواج عموزادگان را، که پیش از این موضوع بحث بود، کنار بگذارید). شما هشت پدر و مادر پدربزرگ و مادربزرگ دارید، ولی فقط یکی از آنها از جنس مؤنث است. حتی اگر در نظر بگیریم که ازدواج با عموزادگان و عمه زادگان شماره نیاکان را در بستر یک نسل کاهش می دهد، باز هم این حقیقت دارد که راه های خیلی، خیلی، خیلی بیشتری برای نیاکان بودن یافت می شود، تا در جنس فقط مؤنث. همچنانکه ما رودخانه ژنتیک خود را تا دوران بسیار دور باستان دنبال می کنیم، احتمالاً تعداد زیادی حوّا و آدم وجود داشته است – افراد کانونی که در مورد آنها می توان گفت همه مردم زنده در سال ۱۳۹۶ زادگان هریک از آنهایند. حوّا میتوکندریایی فقط یکی از آنهاست. هیچ دلیل معینی وجود ندارد که فکر کنیم از همه این حوّاها و آدمها، حوّا میتوکندریایی اخیرترین آنها باشد. برعکس، حوّا به شیوه معینی تعریف می شود: ما در رودخانه انشعاب، از طریق مسیر معینی زادگان او هستیم. شماره مسیرهای احتمالی در کنار مسیر فقط مؤنث چندان زیاد است که از نظر ریاضی بسیار نامحتمل است که حوّا میتوکندریایی اخیرترین این همه حوّاها و آدمها باشد. این در میان مسیرهای یک طرفه (فقط مؤنث) اتفاق ویژه ای است. اتفاق قابل ملاحظه ای خواهد بود اگر در میان مسیرهای طرف دیگر (اخیرترین آنها) باشد.

یک نکته اضافی تا حدودی جالب از این قرار است که اخیرترین نیاکان مشترک ما تا حدودی احتمال دارد یک آدم و حوّا باشد. احتمال بیشتری می رود که حرمسرای مؤنثها بیش از حرمسرای مذکرها باشد، که شاید فقط به این خاطر باشد که مذکرها از نظر جسمی توانایی داشتن

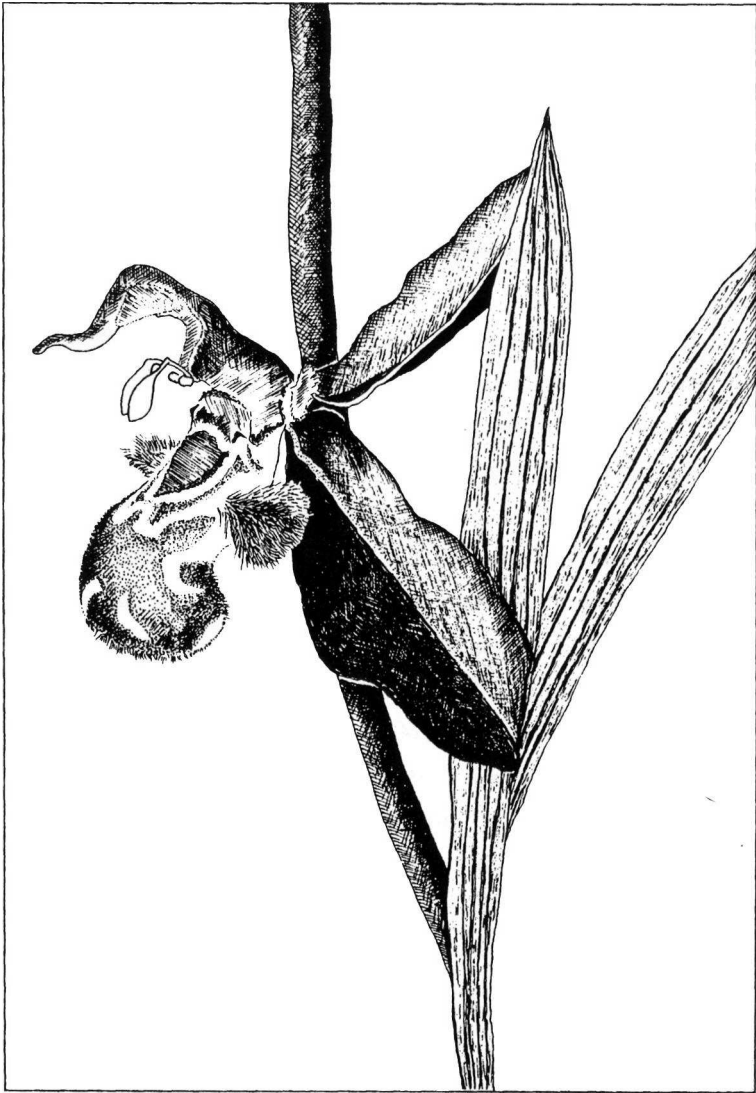
صدها، و حتی هزاران کودک را دارند. کتاب ضبط گینس^۱ این تعداد را به بیش از هزاران هزار ضبط کرده است که مولا اسماعیل خونخوار داشته است.^۲ (درضمن ممکن است طرفداران جنبش برابری جنسیتی زنان او را همچون نماد کلی خشونت مردانه به شمار آورند. گفته می شود که شیوه بر اسب نشستن او این بود که شمشیرش را بیرون می کشید و بر روی زمین می پرید، و با قطع کردن سر برده ای که لگام اسب را در دست داشت لگام را به سرعت آزاد می کرد. اگرچه باورکردنی به نظر نمی رسد، اما این حقیقت که این افسانه به ما رسیده است با شهرت او که ده هزار مرد را با دستان خودش کشته است، شاید ایده ای در مورد نوع خصلت هایی به ما بدهد که در میان مردانی از نوع خودش تحسین می شده است.) زنان حتی در شرایط مطلوب نمی توانند بیش از بیست فرزند داشته باشند. احتمال بیشتری می رود که یک زن دارای تعداد متوسط فرزندان باشد، تا یک مرد. تعداد کمی از مردان به نحو مضحکی سهم حریصانه ای از فرزندان را دارند، که به معنی آن است که مردان دیگر نباید فرزند داشته باشند. اگر کسی در تولیدمثل کاملاً ناموفق باشد، احتمال زیادی می رود که مرد باشد تا زن. و اگر کسی به نسبت نامتناسبی فرزند داشته باشد نیز احتمال دارد یک مرد باشد. این موضوع در مورد اخیرترین نیاکان همه انسان ها واقعیت دارد، که احتمال زیادی دارد یک آدم باشد تا حوا. یک مثال افراطی در این مورد می زنم و می پرسم احتمال می رود چه کسی نیای مراکشی های امروزی باشد؟ مولا اسماعیل خونخوار یا زنی نگون بخت در حرمسرای او.

1. The Guinness Book of Records

۲. مولا اسماعیل بن الشریف معروف به مولا اسماعیل (۱۶۴۵-۱۷۲۷) یکی از سلاطین مغرب از دودمان علویین بود که از سال ۱۶۷۲ تا سال ۱۷۲۷ میلادی حکومت کرد. او مردی بی رحم و خونخوار بود. م.

ممکن است ما به نتایجی از این قرار برسیم: نخست، قطعی است که یک مؤنث وجود داشته که ممکن است او را حوای میتوکندریایی بدانیم که اخیرترین نیای مشترک همه انسان‌های امروزی در مسیر فقط – مؤنث است. دوم این نیز قطعی است که یک شخص، با جنس ناشناخته که می‌توانیم او را دنیای کانونی بنامیم، اخیرترین نیای مشترک همه انسان‌های امروزی در هریک از دو مسیر باشد. سوم، اگرچه ممکن است حوای میتوکندریایی و نیای کانونی یک شخص باشند، ولی به هیچ وجه احتمال نمی‌رود که چنین باشد. چهارم، تاحدودی احتمال می‌رود که نیای کانونی یک مرد بوده باشد تا یک زن. پنجم، حوای میتوکندریایی به احتمال بسیار زیاد، کمتر از دویست و پنجاه هزار سال پیش از این می‌زیسته است. ششم، این که حوای میتوکندریایی کجا زندگی می‌کرده محل اختلاف است، ولی جهت دیدگاه‌های مطلع هنوز هم به جانب آفریقا است. فقط نتایج پنج و شش به بررسی مدارک علمی وابسته است. چهار نتیجه اول را می‌توان پیشاپیش به اتکای عقل سلیم درحالی که بر روی صندلی خود نشسته‌ایم، با استدلال پیدا کرد.

ولی گفتم که نیاکان کلید فهم خود حیات را در دست دارند. داستان حوای آفریقایی یک جهان کوچک انسانی و محلی از حماسه‌ای عظیم‌تر و به طور غیرقابل مقایسه‌ای باستانی‌تر است. دوباره به تمثیل رودخانه ژن‌ها، رودخانه ما که از عدن جاری است، باز خواهیم گشت. ولی آن را طی مقیاس زمانی تعقیب خواهیم کرد که به طور غیرقابل قیاسی دیرینه‌تر از حوای مشهور هزاران ساله و حوای آفریقایی صدها هزار ساله است. رودخانه دی.ان.ای در خط مداومی در نیاکان ما جاری بوده است که گستردگی آن کمتر از سه هزار میلیون سال نیست.



سفید

در نهان نیکویی می‌کن^۱

آفرینشگری^۲ جاذبه دیرپایی دارد، و دلیلش دور از دسترس نیست. دست‌کم برای بیشتر افرادی که من به آن‌ها برخورده‌ام، دلیلش تعهد به حقیقت ظاهری سفر پیدایش یا برخی دیگر از داستان‌های قبیله‌ای مربوط به پیدایش نیست. بلکه از این قرار است که افراد برای خودشان زیبایی و پیچیدگی جهان زنده را کشف می‌کنند و نتیجه می‌گیرند: «قطعاً» جان باید برطبق طرحی ساخته شده باشد. آن دسته از آفرینشگرایانی که تشخیص می‌دهند تکامل داروینی دست‌کم نوعی بدیل به‌جای نظریه موجود در کتاب مقدسشان فراهم می‌آورد، اغلب به اعتراضی اندکی پیچیده‌تر دست می‌زنند. آنان امکان حدواسط‌های تکاملی را انکار می‌کنند. به‌نظر آنان: «X باید توسط یک خالق طرح شده باشد، زیر نیمی از X به هیچ‌وجه به درد نمی‌خورد. همه بخش‌های X باید همزمان با هم به‌وجود آمده باشند. نمی‌توانند به‌تدریج تکامل یافته باشند.» مثلاً، در روزی که شروع به نوشتن این فصل کردم برحسب اتفاق نامه‌ای از یک

۱. Do goodbye stealth. نقل‌قولی از الکساندر پوپ (۱۶۸۸-۱۷۴۴) شاعر و منتقد نامدار سده هیجدهم انگلستان. آوازه او بیشتر بابت اشعار طنز و ترجمه‌اش از اثر هومر است. نقل‌قول کامل از این قرار است:

در نهان نیکویی می‌کن، و شرمسار شو تا مشهور شوی. م.

2. Creationism

کشیش آمریکایی دریافت داشتم که خداناباور^۱ بوده ولی با خواندن یک مقاله در مجله نشنال جئوگرافیک تغییر رأی داده بود. این خلاصه‌ای از آن نامه است:

مقاله در مورد سازگاری شگفت‌آوری بود که ارکیده‌ها برای تکثیر موفقیت‌آمیز در محیط زیست‌شان برقرار کرده بودند. همچنان که آن را می‌خواندم به‌ویژه با راهبرد یک‌گونه مسحور شدم، که شامل همکاری با یک زنبور مذکر بود. هیچ‌گونه مرحله تدریجی نمی‌توانست عامل آن باشد، زیرا اگر ارکیده شکل و بوی یک زنبور ماده و دهانه مناسب برای آمیزش جنسی را نداشت، باگرده‌ای که در دسترسی کامل دستگاه تولیدمثل زنبور نبود، این راهبرد یک شکست کامل به‌شمار می‌آمد.

هیچگاه احساس عمیقی را فراموش نمی‌کنم که مرا فراگرفت. زیرا در همان دقیقه برایم آشکار شد که باید نوعی خدا به‌نحوی وجود داشته باشد، و با فرایندهایی که توسط آن‌ها چیزها به هستی می‌آیند رابطه‌ای دائمی داشته باشد. کوتاه سخن، خداوند آفریننده یک نوع اسطوره کهن نبود، بلکه چیزی واقعی بود. و با بی‌میلی زیاد، ناگهان متوجه شدم که باید برای دانستن بیشتر در مورد خداوند تحقیق کنم.

شکی نیست که افراد دیگری از راه‌های دیگری به مذهب می‌رسند، ولی قطعاً افراد بسیاری تجربه‌ای شبیه به تجربه‌ای دارند که زندگی این کشیش را (که هویتش را از روی حسن سلوک پنهان می‌دارم) تغییر داد.

1. atheist

آنان چیزی در مورد شگفتی طبیعت دیده‌اند و یا خوانده‌اند. این موضوع به‌طور کلی آنان را به حیرت و شگفتی واداشته است و به احترامشان به او منجر شده است. به‌ویژه مانند آن کشیش معتقد شده‌اند که این پدیده طبیعی معین – تار یک عنکبوت، چشم یا بال عقاب، یا هرچه که هست – نمی‌تواند طی مراحل تدریجی تکامل یابد، زیرا مراحل حدواسط و نیمه‌کاره نمی‌توانستند برای چیزی مفید باشند. هدف ما در این فصل از این قرار است که این استدلال را رد کنیم که اندام‌های پیچیده برای آن‌که اصلاً بتوانند کار کنند، باید کامل باشند. درضمن، ارکیدها در میان مثال‌های مورد علاقه چارلز داروین جای داشت و او یک کتاب کامل را به این امر اختصاص داد تا نشان دهد که چگونه اصل تکامل تدریجی از طریق انتخاب طبیعی کار دشوار توضیح دادن را پیروزمندانه انجام می‌دهد. عنوان کتابش این بود: **اندام‌های مختلفی که از طریق آن‌ها ارکیدها توسط حشره‌ها بارور می‌شوند.**

کلید استدلال آن کشیش در این ادعا نهفته است که برای این‌که اصلاً یک شیوه تولیدمثل کار کند، باید از همان ابتدا کامل باشد. هیچ مرحله حدواسطی نمی‌تواند آن را توضیح دهد. همان استدلال می‌تواند برای تکامل چشم ارائه شود، و من در این فصل به آن باز خواهم گشت. هنگامی که این نوع استدلال را می‌شنوم، آنچه همیشه مرا تحت تأثیر قرار می‌دهد، اعتماد و اطمینانی است که نسبت به آن اظهار می‌شود. می‌خواهم از آن کشیش بپرسم، چگونه می‌توانید مطمئن باشید که ارکیده تقلیدکننده زنبور (یا چشم، یا هر چیز دیگر) نمی‌تواند کار کند مگر این‌که همه بخش‌های آن کامل و در جای خودش واقع باشد؟ در واقع، آیا یک لحظه به این موضوع فکر کرده‌اید؟ آیا واقعاً کمترین چیزی را در مورد

ارکیده‌ها، یا زنبورها، یا چشمانی را که با آن زنبورها به زنبورهای ماده و ارکیده‌ها می‌نگرند، می‌دانید؟ چه چیزی شما را دلگرم می‌کند که گول زدن زنبورها چندان سخت است که شباهت ارکیده‌ها باید از همه نظر کامل باشد تا بتواند مؤثر واقع شود؟

به آخرین باری فکر کنید که از طریق بعضی شباهت‌های اتفاقی گول خوردید. شاید کلاه را برای یک غریبه در خیابان از سر برداشته و او را با یک آشنا اشتباه گرفته باشید. هنرپیشگان سینما کسانی را دارند که به‌جای آن‌ها از روی اسب، یا از پرتگاه‌ها پایین می‌افتند. شباهت این افراد با هنرپیشه‌هایی نهایت سطحی است، ولی در صحنه، کنش سریع برای گول زدن تماشاچیان کافی است. شهوت مردان را تصویرهای مجله‌ها تحریک می‌کنند. هر تصویر فقط یک جوهر چاپ شده بر صفحه کاغذ است. این تصویر دو بعدی است و نه سه بعدی. تصویر فقط چند سانتی‌متر است. ممکن است یک کاریکاتور خام و شامل چند خط باشد، تا این‌که شبیه یک موجود زنده. باین‌حال، ممکن است باعث نعوذ در نزد مردان شود. شاید منظره زودگذر یک زنبور مؤنث تمام آن چیزی است که یک زنبور تندپرواز، پیش از آن‌که سعی کند با او جفتگیری کند انتظارش را دارد. شاید در هر حال زنبورهای مذکر فقط به چند محرک کلیدی توجه می‌کنند. دلایلی داریم که فکر کنیم زنبورها ممکن است حتی آسان‌تر از انسان‌ها گول بخورند. قطعاً ماهی آبنوس^۱ این‌طور است؛ ماهی‌های آبنوس نر شکم سرخرنگی دارند و نه‌تنها سایر ماهی‌های نر را تهدید می‌کنند، بلکه هر چیزی دارای «شکم سرخرنگ» را تهدید می‌کنند. استاد رفتارشناس قدیمی ام‌نیکو تینبرگن، برنده جایزه نوبل، داستان معروفی را

1. Stick leback

درباره یک وانت سرخرنگ اداره پست می‌گفت که از پنجره آزمایشگاهش رد می‌شد، و چگونه همه ماهی‌های آب‌نوس نر به طرفی از تنگ آب که رو به پنجره بود، هجوم می‌بردند و به شدت آن را تهدید می‌کردند. ماهی‌های آب‌نوس نر که پر از تخم‌اند شکم‌های متورم و مشخصی دارند. تینبرگن متوجه شده بود که یک شیئی بی‌نهایت زمخت و تقریباً دراز با شکم نقره‌ای که به چشم ما مانند ماهی آب‌نوس نمی‌رسد، ولی یک «شکم» گرد داشت، باعث برانگیختن رفتار کامل مربوط به جفت‌گیری در ماهی‌های نر شد. آزمایش‌های اخیرتر در دانشکده پژوهشی که بنیاد آن را تینبرگن گذاشته شده بود، نشان داده است که یک به اصطلاح بمب جنسی – یک شیئی گلابی شکل، گرد و فربه که با هرگونه خیال‌پردازی (انسانی) نه شبیه ماهی و نه دراز است – حتی در برانگیختن شهوت ماهی آب‌نوس نر مؤثرتر بوده است. «بمب جنسی» ماهی آب‌نوس نمونه کلاسیک محرک‌های فراعادی است – محرکی که حتی مؤثرتر از ماهی آب‌نوس است. یک مثال دیگر، تینبرگن تصویری از یک صدف خوراکی^۱ را منتشر کرد که سعی داشت بر روی تخمی بنشیند که به اندازه یک تخم شترمرغ بود. پرندگان نسبت به ماهی‌ها مغز بزرگ‌تر و دید بهتری دارند – و قوی‌تر از زنبورهايند – بااین‌حال، صیادان صدف خوراکی ظاهراً «فکر می‌کنند» که تخمی به اندازه تخم شترمرغ یک چیز عالی برای تکثیر صدف خوراکی است.

کاکایی^۲، غازها و سایر پرندگانی که بر روی زمین لانه می‌سازند پاسخی کلیشه‌ای به تخمی می‌دهند که از خانه بیرون افتاده است. آن‌ها نزدیک تخم می‌روند و آن را با نوک زیرین خود به لانه برمی‌گردانند.

1. oyster

2. gull

تینبرگن و دانشجویانش نشان دادند که کاکایی‌ها نه فقط این کار را با تخم‌های خودشان می‌کنند، بلکه با تخم مرغ و حتی استوانه‌های چوبی و با قوطی کاکائو هم که در اردوگاه‌ها دور انداخته‌اند، انجام می‌دهند. جوجه کاکایی شاه ماهی خوار^۱ غذای خود را با التماس از والدینش می‌گیرد. این جوجه‌ها به لکه سرخرنگ روی نوک والدینشان نوک می‌زنند و آن‌ها را تحریک می‌کنند تا از چینه‌دان متورمشان مقداری ماهی بیرون بریزند. تینبرگن و همکارانش نشان دادند که سر مصنوعی والدین آن‌ها که از مقوا ساخته شده است در تحریک رفتار ملتسمانه جوجه‌ها بسیار مؤثر است. آنچه که واقعاً ضروری است، فقط یک لکه سرخرنگ است. ممکن است آن‌ها بقیه والدینشان را به خوبی ببینند، ولی به نظر نمی‌رسد که این موضوع مهمی باشد.

این دید به ظاهر محدود فقط به نوزادان کاکایی‌ها منحصر نیست. کاکایی سر سیاه هم به علت سر سیاهش، خیلی مشخص است. رابرت مش شاگرد تینبرگن در مورد اهمیت این موضوع برای کاکایی‌های بالغ دیگر، با رنگ کردن سر مصنوعی آن‌ها، تحقیق کرد. هر سر مصنوعی بر انتهای یک ترکه چوبی نصب شده بود که به یک موتور برقی در یک جعبه متصل می‌شد، به طوری که مش می‌توانست سرها را از طریق کنترل از راه دور، بالا و پایین ببرد و یا به راست و چپ بچرخاند. او جعبه را، درحالی که سر بیرون بود، در نزدیکی لانه یک کاکایی زیر شن‌ها دفن می‌کرد. سپس، روزی پس از روز دیگر به یک مخفی‌گاه در نزدیکی لانه می‌رفت و واکنش کاکایی‌های تخم‌گذار را نسبت به سر مصنوعی، به هنگامی که به بالا و این طرف و آن طرف تکان می‌خورد، مشاهده می‌کرد.

1. herring gulls

کاکایی‌ها به این سر مصنوعی و چرخش آن واکنش نشان دادند، درست مانند این‌که یک کاکایی واقعی است، درحالی‌که فقط یک مدل بود، بدون هیچ‌گونه بدن، پا، یا دم؛ ساکت و بدون هیچ‌گونه حرکت، جز یک حرکت غیرزنده، روباتیک، حرکت بالا و پایین و چرخش. به نظر می‌رسد که برای یک کاکایی سرسیاه یک همسایه تهدیدکننده باید چیزی بیشتر از یک سر سیاه بدون بدن باشد. نه بدن، یا بال، لازم است و نه چیز دیگری.

مش، مانند نسل‌های پرنده‌شناس پیش و پس از خود، برای مشاهده این پرندگان به مخفی‌گاه رفته، از یک محدودیت کاملاً شناخته شده دستگاه عصبی پرندگان بهره گرفت: پرندگان به‌طور طبیعی ریاضی‌دان نیستند. دو نفر از شما به یک مخفی‌گاه بروید و فقط یکی از آن‌ها از آن‌جا بیرون آید. بدون این ترفند، پرندگان نسبت به مخفی‌گاه هشیارند، «می‌دانند» که کسی داخل آن شده است. ولی اگر ببینند که فقط یک نفر از آن‌جا خارج شده است، «فرض» می‌کنند که هر دو نفر خارج شده‌اند. اگر پرندگان تفاوت میان یک نفر و دو نفر را نمی‌دانند، آیا تعجب‌آور نیست که یک زنبور ماده توسط ارکیده‌ای که شباهت خیلی کمتری به یک ماده دارد، گول بخورد؟

حکایت بسیار غم‌انگیز دیگری در همین زمینه در مورد پرندگان، نقل شده است. بوقلمون‌های مادر به‌شدت از جوجه‌های خود حمایت می‌کنند. آن‌ها مجبورند جوجه‌ها را در برابر راسوهای چپاولگر لانه و موش‌های مرده‌خوار حمایت کنند. قاعده کلی یک بوقلمون مادر برای تشخیص چپاولگران لانه به‌طور ترسناکی خشونت‌بار است: در اطراف لانه خودت به هر چیزی که حرکت می‌کند، حمله کن، مگر آن‌که صدایی مانند یک جوجه بوقلمون بدهد. به این موضوع یک جانورشناس

استرالیایی به نام ولفانگ اشلید پی برد. اشلید بوقلمون مادری داشت که همه جوجه‌هایش را بی‌رحمانه کشت. شوربختانه دلیل آن ساده بود: بوقلمون کر بود. تا آن‌جا که به دستگاه عصبی بوقلمون مربوط می‌شود، تعریف چپاولگران لانه از این قرار است: اشیای متحرکی که صدای جوجه بوقلمون نمی‌دهند. هرچند این جوجه بوقلمون‌ها مانند جوجه بوقلمون به نظر می‌رسیدند، و مانند جوجه بوقلمون حرکت می‌کردند، و با اطمینان به سوی مادرشان می‌دویدند، اما قربانی تعریف محدود مادرشان از «چپاولگر» شدند. او داشت از جوجه‌های خودش در مقابل آن‌ها محافظت می‌کرد و بنابراین همه آن‌ها را کشت.

این هم مورد یک حشره به دنبال داستان غم‌انگیز بوقلمون: بعضی از سلول‌های حسی در شاخک زنبور عسل فقط به یک نوع ماده شیمیایی حساس است و آن اسید اولئیک است (سلول‌های دیگری هم دارند که به مواد شیمیایی دیگری حساس‌اند). اسید اولئیک را لاشه زنبور در حال تجزیه آزاد می‌کند و «رفتار مسئول کفن و دفن» زنبور عسل، یعنی بیرون بردن لاشه‌های مرده از کندو، را برمی‌انگیزد. اگر آزمایشگر قطره‌ای از اسید اولئیک را بر روی زنبور عسل زنده بگذارد، این موجود بیچاره، درحالی‌که دست‌وپا می‌زند و تقلا می‌کند و قطعاً به‌خوبی زنده است، بیرون کشیده و با زنبورهای مرده از لانه بیرون انداخته می‌شود.

مغز حشره‌ها بسیار کوچک‌تر از مغز بوقلمون یا انسان است. چشم حشرات، حتی چشم‌های مرکب و بزرگ سنجاق، از کسری از وضوح چشم ما یا چشم پرندگان برخوردار است. غیر از این‌ها، معلوم شده است که چشم حشرات جهان را کاملاً متفاوت از چشم ما می‌بیند. کارل فون فریش جانورشناس بزرگ اتریشی در جوانی کشف کرد که حشرات

نسبت به نور سرخ نابینايند، ولی می‌توانند با رنگ مشخص خودشان، یعنی با پرتو فرابنفش ببینند که ما آن را نمی‌توانیم ببینیم. چشم حشرات بیشتر به چیزی که ما به آن «سوسوزدن» می‌گوییم عادت دارند. یعنی، دست‌کم برای حشرات پرسرعت، تا اندازه‌ای جان‌شین چیزی می‌شود که ما آن را «شکل» می‌نامیم. ما پروانه ماده را به شکل دو بال بزرگ می‌بینیم که بالا و پایین می‌روند. یک پروانه نر در حال پرواز او را به شکل مجموعه‌ای از سوسوزدن‌ها می‌بیند و به او عشق می‌ورزد. می‌توانید او را با لامپ سوسوزن گول بزنید که حرکت نمی‌کند ولی روشن و خاموش می‌شود. اگر سرعت سوسوزدن را درست تنظیم کنید، همان رفتار را دارد که گویی پروانه دیگری بال‌هایش را با همان سرعت به هم می‌زند. می‌توانیم بگوییم که نوارها الگوهای ایستایی‌اند. از نظر یک حشره، هنگامی که بر بالای آن پرواز می‌کند، به شکل «سوسوزدن» به نظر می‌آید و می‌توان با لامپی سوسوزن و سرعت مناسب از آن تقلید کرد و دنیا از چشم یک حشره برای ما چنان بیگانه است که صحبت کردن برپایه تجربه خودمان در مورد این‌که ارکیده‌ها تا چه حد باید بدن زنبور ماده را به طور «کامل» تقلید کنند، تصورات انسانی است.

زنبورها خودشان موضوع آزمایش‌های کلاسیکی قرار گرفته‌اند که در ابتدا طبیعی‌دان بزرگ فرانسوی، ژان-هنری فابر انجام داده بود و پژوهشگران متعددی، از جمله اعضای مکتب تینبرگن آن را تکرار کردند. و زنبور حفار ماده، درحالی که طعمه نیش خورده و فلج شده خود را حمل می‌کند، به سوراخ خود باز می‌گردد. او طعمه‌اش را در خارج از سوراخ می‌گذارد و، پیش از آن‌که برگردد و شکار را به داخل بکشد، به سوراخ وارد می‌شود، ظاهراً برای آن‌که ببیند همه‌چیز روبه‌راه است.

هنگامی که او در سوراخ است، آزمایشگر طعمه را چند سانتی متر دورتر از جایی که گذاشته بود می‌گذارد. وقتی که زنبور بیرون می‌آید، متوجه نبودن طعمه می‌شود و به جست‌وجو می‌پردازد و بی‌درنگ آن را پیدا می‌کند. سپس آن را به دهانه سوراخ می‌کشد. فقط چند ثانیه از زمان بازرسی درون سوراخ گذشته است. فکر می‌کنیم که واقعاً دلیل کافی وجود ندارد که چرا نباید به مرحله بعدی در روال کار خود ادامه دهد، یعنی طعمه را به درون سوراخ بکشد و کار را تمام کند. ولی برنامه او اجرای مجدد مرحله پیشین است. او با وظیفه‌شناسی طعمه را دوباره در خارج از سوراخ خود می‌گذارد و برای یک بازرسی دیگر به درون سوراخ می‌رود. آزمایشگر ممکن است این کار را چهل بار دیگر تکرار کند، تا آن‌که حوصله‌اش سر برود. زنبور مانند یک ماشین لباس‌شویی کار می‌کند که برنامه‌اش بازگشت به مرحله پیشین است و «نمی‌داند» که پیشتر، این لباس‌ها را چهل بار بدون وقفه شسته است. دانشورز برجسته کامپیوتر دوگلاس هافستادر برای نامیدن این خودکاری غیرقابل انعطاف و نیندیشیده، صفت جدیدی را ابداع کرده است که «نخ کمری‌سان»^۱ نام دارد. پس زنبورها دست‌کم از بعضی جهات به آسانی گول می‌خورند. این نوع بسیاری متفاوتی از گول خوردن است که ارکیدها ابداع کرده‌اند. باین‌حال، باید از کاربرد بینش انسانی و این نتیجه حذر کنیم که «برای این‌که راهبرد تولیدمثل اصولاً موفق بوده باشد، می‌باید در همان دفعه اول کامل باشد».

شاید کار خود را در متقاعد کردن شما به این‌که احتمال دارد زنبورها را به آسانی گول زد، خیلی خوب انجام داده باشم. ممکن است یک

۱. Sphexish. واژه Sphex نام یکی از زنبورهای حفار به نام نخ‌کمری است. م.

بدگمانی در شما ایجاد شده باشد درست در تقابل با آنچه به کشیش طرف مکاتبه من دست داده بود. اگر بینایی حشرات این‌قدر ضعیف است، و اگر زنبورها به این آسانی گول می‌خورند، چرا ارکیده به خود زحمت می‌دهد تا گل‌هایش را به این ترتیب به شکل زنبور درآورد؟ درست است، بینایی زنبور همیشه ضعیف نیست. به نظر می‌رسد که در وضعیت‌هایی زنبورها خیلی خوب می‌بینند: مثلاً، هنگامی که سوراخ خود را پس از یک پرواز شکاری طولانی مدت پیدا می‌کنند. تینبرگن این موضوع را روی زنبورهای حفار شکارگر زنبور عسل^۱، یعنی زنبور منج‌گیر^۲ تحقیق کرد. او صبر می‌کرد تا این زنبور به سوراخ خود می‌رفت. تینبرگن به سرعت چند «علامت»، مثلاً یک ترکه چوب یا یک مخروط کاج، را در اطراف سوراخ می‌گذاشت. سپس به کناری می‌رفت تا زنبور بیرون آید و به پرواز درآید. سپس، زنبور دوسه بار دور سوراخ پرواز می‌کرد، گویی که یک تصویر ذهنی از این ناحیه برمی‌گیرد، سپس برای یافتن طعمه خود پرواز می‌کرد. پس از رفتن زنبور، تینبرگن ترکه چوب و مخروط کاج را به مکان جدیدی چند متر دورتر منتقل می‌کرد. هنگامی که زنبور باز می‌گشت، سوراخش را گم می‌کرد و در عوض در نقطه مناسبی نسبت به محل جدیدتر ترکه چوب و مخروط کاج می‌نشست. بار دیگر به یک مفهوم زنبور «گول خورده بود»، ولی این بار به خاطر بینایی‌اش احترام ما را برمی‌انگیزد. به نظر می‌رسد که گویا «برگرفتن تصویر ذهنی» درواقع کاری بود که در پرواز اولیه به دور سوراخ انجام می‌داد. به نظر می‌رسد که این زنبور الگو، یا «گشتالت»^۳ ترکه چوب و مخروط کاج را تشخیص داده بود.

1. bee-hunting digger wasp

2. philanthus

3. gestalt

تینبرگن این آزمایش را با استفاده از علامت‌های مختلف، مانند حلقه‌های مخروط کاج، چندین بار تکرار کرد و نتایج یکسانی به دست آورد.

حال آزمایش جرال د بائرند را شرح می‌دهیم که شاگرد تینبرگن و به‌طور چشمگیری با آزمایش «ماشین لباس شویی» فابر در تقابل است. گونه زنبور حفار بائرند، آموفیلا کامپستریس، از این نظر که یک «تدارک‌کننده پیشرفته» به‌شمار می‌آید، غیرعادی است. بیشتر زنبورهای حفار سوراخ خود را ایجاد می‌کنند و در آن تخم می‌گذارند، سپس سوراخ را مسدود می‌کنند و لارو جوان را در آن جا می‌گذارند تا خودش به تنهایی غذای خود را پیدا کند. آموفیلا با آن‌ها تفاوت دارد. آموفیلا مانند یک پرنده روزانه به سوراخ برمی‌گردد و رفاه لارو را بررسی می‌کند و اگر لازم باشد به او غذا می‌دهد. تا این‌جا که چیز دندان‌گیری نیست. ولی هر آموفیلای ماده همزمان دو یا سه سوراخ دارد. یکی سوراخ لارو تازه از تخم بیرون آمده، و شاید یکی هم برای لارو که سن و سال و اندازه‌اش در حد واسط است. طبیعی است که هریک نیاز غذایی متفاوتی دارد و مادرشان به همین ترتیب از آن‌ها مراقبت می‌کند. با یک رشته آزمایش‌های دشوار که شامل جابه‌جا کردن محتویات لانه‌ها بود، بائرند توانست اثبات کند که زنبور مادر در واقع نیازهای غذایی هر لانه را در نظر می‌گیرد. به‌نظر می‌رسد که این کاری هوشمندانه است، ولی بائرند پی برد که به شیوه بسیار قدیمی و بیگانه چندان هم هوشمندانه نیست. اولین کاری که زنبور مادر هر روز صبح انجام می‌دهد، بازدید همه سوراخ‌های لارودار است. وضعیت هریک از لانه‌ها در وقت بازرسی سحرگاهی وهنگام ارزیابی مادر بر رفتار او در تدارک برای بقیه روز تأثیر می‌گذارد. بائرند، می‌توانست محتویات لانه را پس از بازدید سحرگاهی هرچند بار

که می‌خواست جابه‌جا کند، و این امر بر رفتار زنبور مادر در تدارک تأثیری نداشت. گویی که او دستگاه ارزیابی لانه را فقط در مدت بازرسی در سحرگاه روشن و سپس برای بقیه روز آن را خاموش کرده است تا در مصرف برق صرفه‌جویی کند.

از دیگر سو، این حکایت نشان می‌دهد که در سر زنبور ابزار پیچیده‌ای برای شمارش، اندازه‌گیری و حتی محاسبه وجود دارد. اکنون، باور به این که مغز زنبور فقط با یک شباهت کاملاً مفصل میان ارکیده و زنبور ماده گول می‌خورد، آسان می‌شود. ولی در همان حال، داستان بائرنند ظرفیت یک چشم‌پوشی گزینشی و گول خوردن را نشان می‌دهد که همگی شبیه به آزمایش ماشین لباس‌شویی‌اند و این امر را که ممکن است شباهت خامی میان ارکیده و زنبور ماده به خوبی برقرار باشد باورپذیر می‌کند. درس کلی از این قرار است که باید فراگیریم که در ارزشیابی چنین موضوعاتی هیچ‌گاه قضاوت انسانی را به کار نگیریم. هیچ‌گاه نگوئیم، و هیچ‌گاه حرف کسی را که می‌گوید: «نمی‌توانم باور کنم که چنین و چنان با انتخاب تدریجی تکامل یافته است» باور نکنیم. من این نوع مغلطه را «برهان معطوف به ناباوری شخصی» می‌خوانم. بارها ثابت شده است که این جریان پیش‌درآمدی بر تجربه زمین خوردن فکری بر اثر پوست موز است.

استدلالی که من به آن حمله می‌کنم، از این قرار است: تکامل تدریجی چنین و چنان نمی‌توانسته است رخ دهد، برای این که چنین و چنان اصولاً به کار آید «مسئلاً» باید کامل و تکمیل باشد. تا حالا در پاسخ خود، بیشتر این حقیقت را بیان کرده‌ام که زنبورها و جانوران دیگر دیدگاهی بسیار متفاوت به جهان با ما دارند، و در هر حال حتی گول زدن ما هم دشوار

نیست. اما استدلال‌های دیگری هم هست که می‌خواهم عرضه کنم و حتی قانع‌کننده‌تر و کلی‌ترند. بیایید واژه «شکننده»^۱ را برای ابزاری به کار ببریم که باید کامل باشد تا اصلاً کار کند؛ همان‌طور که مدعای طرف مکاتبه من در مورد ارکیده‌های مقلد زنبور است. پی بردم که این نکته مهم است که فکر کردن به ابزاری که به وضوح شکننده‌اند، در واقع بسیار دشوار است. هواپیما شکننده نیست، زیرا اگرچه همه ما ترجیح می‌دهیم زندگی و حیات خود را به یک بوئینگ ۷۴۷ با همه قطعات بی‌شمار آن در شرایط کاری کامل واگذاریم، هواپیمایی که حتی قطعات عمده دستگاهش را از دست داده است، مانند یک یا دو تا از موتورهایش، هنوز هم می‌تواند پرواز کند. میکروسکوپ هم شکننده نیست، زیرا هرچند میکروسکوپی نامرغوب تصویر مبهم و کم‌نوری به دست می‌دهد، هنوز هم می‌توانید اشیای کوچک را با آن بهتر ببینید تا بدون هیچ‌گونه میکروسکوپی. دستگاه گیرنده رادیو، اگر از بعضی جهات کمبود داشته باشد، شکننده نیست. ممکن است مانند صدای طبیعی نباشد و یا صدایش نازک و تغییر یافته باشد، ولی هنوز هم می‌توانید معنی کلمات را از آن بفهمید. ده دقیقه است که کنار پنجره ایستاده‌ام و سعی می‌کنم فقط به یک مثال خوب از یک ابزار شکننده ساخت انسان فکر کنم، و فقط یکی را پیدا کرده‌ام: طاق^۲. طاق شکنندگی تقریباً معینی دارد؛ به این معنی که هنگامی که هر دو طرف آن به هم رسیدند، استحکام و پایداری زیادی پیدا می‌کند. ولی پیش از آنکه هر دو طرف به هم برسند، هیچ طرفی نمی‌توانند استوار برجای بمانند. قوس باید به کمک یک نوع داربست ساخته شود. داربست تا تکمیل قوس حمایتی موقتی را فراهم می‌آورد.

1. brittle

2. arch

سپس می‌توان آن را برداشت و طاق برای مدت زیادی پایدار می‌ماند. در فناوری انسانی هیچ دلیلی وجود ندارد که چرا اصولاً یک ابزار نباید شکننده باشد. مهندسان آزادند بر روی میز نقشه‌کشی خود ابزارهایی را طراحی کنند که اگر نیمه کامل باشند، اصلاً کار نمی‌کنند. حتی در رشته مهندسی هم سخت است که ابزار واقعاً شکننده‌ای را ببینیم. به نظر من، این موضوع در مورد ابزارهای زنده حتی بیشتر مصداق دارد. بیاید به بعضی از این ابزارهای به اصطلاح شکننده از دنیای زندگان نگاهی اندازیم که در خدمت تبلیغات آفرینشگری است. مثال زنبور و ارکیده فقط نمونه‌ای از پدیده شگفت‌انگیز تقلید^۱ است. شمار زیادی از جانوران و برخی گونه‌های گیاهی به علت تشابه با چیزهای دیگر، اغلب حیوانات و یا گیاهان دیگر، مزیتی کسب می‌کنند. تقریباً هر جنبه از حیات تا حدودی از طریق تقلید تقویت و یا تخریب شده است: به دست آوردن غذا (ببرها و پلنگ‌ها هنگامی که در بیشه‌زارهای سایه‌روشن به دنبال طعمه خود می‌روند، تقریباً نامریی‌اند. **قلابچه ماهی**^۲ مانند کف دریاست که بر آن می‌نشیند و به نظر می‌رسد طعمه خود را با یک «چوب ماهیگیری» دراز فریب می‌دهد که در انتهای آن طعمه‌ای شبیه یک کرم قرار دارد. حشره شب‌تابی به نام **شهر آشوب**^۳ الگوهای تابش‌گونه دیگری را برای معاشقه تقلید می‌کند، و به این ترتیب حشره نر را فریب می‌دهد و سپس آن را می‌خورد. **ماهی دندان خنجر بلنی**^۴ گونه‌های دیگر ماهی‌هایی تقلید می‌کند که تخصص‌شان تمیز کردن اندام ماهی‌های بزرگ است، (پس از این که اجازه را یافت، تکه‌ای از باله مشتری خود را با دندان

1. femmefetale

2. angler fish

3. femme fetale

4. sabre-toothed blenny

جدا می‌کند)؛ به این ترتیب از خورده شدن می‌گریزد (جانورانی که شکار می‌شوند، به شیوه‌های گوناگونی درمی‌آیند: به شکل پوسته درخت، شاخه درخت، برگ سبز تازه، برگ خشک خمیده، گل، خارگل سرخ، برگ جلبک دریایی، سنگ، فضله پرندگان، و جانوران شناخته شده دیگری که سمی و یا زهرآگین‌اند؛ فریب دادن جانوران شکارگر و دور کردن آن‌ها از جوجه‌ها (نوک خنجری^۱ و بسیاری از پرندگانی که بر روی زمین تخم می‌گذارند، حالت و طرز راه رفتن پرنده‌ای با بال شکسته را به خود می‌گیرند). مراقبت از تخم‌ها (تخم‌های فاخته شبیه به تخم‌های میزبان مخصوصی است که دچار انگل شده است. بر پهلوی ماده بعضی از ماهی‌های گروه دهان پروردگان^۲ نقش تخم‌های دروغین افتاده تا نرها را به آن‌سو بکشند و تخم‌های واقعی را در دهانشان بگذارند و پرورش دهند).

در همه این موارد، این وسوسه جاری است که فکر کنیم اگر تقلید کامل نباشد، هیچ کارایی ندارد. به‌ویژه در مورد زنبور و ارکیده، در مورد نقص ادراک زنبورها و قربانیان تقلید زیاد تأکید کرده‌ام. از دیده‌من، شباهت ارکیده‌ها به زنبورهای دیگر یا زنبورهای عسل، یا مگس‌ها واقعاً آنقدرها غیرطبیعی نیست. شباهت یک حشره برگ‌مانند به یک برگ به چشم من بسیار دقیق‌تر است، شاید به این علت که چشم‌های من بیشتر مانند چشم‌های جانوران شکارگر (احتمالاً پرندگان) است که در روند تقلید آن را هدف گرفته است.

اما بنابر یک مفهوم عمومی‌تر، اشتباه است اگر تصور کنیم تقلید باید حتماً کامل باشد تا اصولاً با توفیق همراه شود. هرچقدر هم چشمان یک

1. avocet

2. mouth breeders

شکارگر تیز باشد، شرایط دید همیشه کامل نیست. علاوه بر آن، تقریباً به‌طور اجتناب‌ناپذیری طیفی از دیدن وجود خواهد داشت که از بسیار بد تا بسیار خوب فرق می‌کند. به چیزی فکر کنید که آن را واقعاً خوب می‌شناسید، به قدری خوب که هیچ‌گاه امکان ندارد آن را با چیز دیگری اشتباه بگیرید. یا به یک شخص، مثلاً یک دوست نزدیک فکر کنید که چندان عزیز و آشناست که هیچ‌گاه نمی‌توانید او را با کس دیگری اشتباه بگیرید. اکنون تصور کنید که او دارد از فاصله زیادی به‌سویتان می‌آید. باید مسافتی باشد که آن‌قدر زیاد است که به هیچ‌وجه او را نمی‌بینید، و مسافتی که چندان نزدیک است که همه اجزای سیمای او، هر مژه و هر منفذ پوستی‌اش را، می‌بینید. در همه مسافت‌های حدواسط هیچ تغییر ناگهانی رخ نمی‌دهد. یک شناسایی از پدیدار و ناپدید شدن تدریجی است. در کتاب‌های راهنمای تیراندازی این موضوع به خوبی بیان می‌شود: «در دویست متری تمام اندام‌های بدن به‌طور مشخص دیده می‌شوند. در سیصد متری طرح کلی چهره نامشخص است، در چهارصد متری چهره دیده نمی‌شود. در ششصد متری سر مانند یک نقطه و بدن مخروطی شکل می‌شود. آیا سؤال دیگری هم هست؟» امر مسلم آن است که در مورد دوستی که به تدریج نزدیک می‌شود، ممکن است ناگهان شناسایی‌اش کنید. اما در این مورد مسافت شیئی^۱ از احتمالات تشخیص ناگهانی را فراهم می‌سازد.

مسافت از هر جهت شیئی از دید را فراهم می‌آورد و اساساً تدریجی است. برای هر درجه از شباهت میان یک مدل و یک تقلید، چه این شباهت عالی باشد و یا تقریباً وجود نداشته باشد، باید فاصله‌ای باشد که

1. gradient

در آن فاصله چشم‌های شکارگر گول می‌خورد و در فاصله کمی کوتاه‌تر احتمال کمتری می‌رود گول بخورد. همچنان‌که تکامل پیش می‌رود، شباهت‌های اندام‌های کاملی که به تدریج بهبود می‌یابند، به این ترتیب می‌توانند با انتخاب طبیعی پشتیبانی شوند؛ از این نظر که فاصله بحرانی برای گول خوردن به تدریج نزدیک‌تر می‌شود. من «چشمان شکارگر» را به جای «چشمان هرکسی که می‌باید گول بخورد» به کار می‌برم. در مواردی چشمان طعمه، چشمان ناپدیری و نامادری، چشمان ماهی ماده، و غیره خواهد بود.

این اثر را در سخنرانی‌های عمومی برای جمعی از کودکان نشان داده‌ام. همکارم دکتر جورج مک‌گاوین عضو موزه دانشگاه اکسفورد از روی لطف برای من مدلی از «سطح یک زمین جنگلی» درست کرد که از ترکیه‌های چوب، برگ‌های مرده، و خزه پوشیده شده بود. او با مهارت بر روی این مدل تعدادی حشره مرده گذاشته بود. برخی از آن‌ها، مانند سوسک سربی رنگ به طور واضحی قرار گرفته بودند، برخی دیگر، مانند حشره چوب‌نما^۱ و پروانه‌های مقلد برگ^۲ به شدت استتار شده بودند. با این حال برخی دیگر، مانند سوسک قهوه‌ای در حد مابین وضوح و استتار بودند. از کودکان حاضر دعوت شد بیرون بیایند و از آن‌ها خواسته شد به آهستگی به سوی تابلو بروند و به جست‌وجوی حشرات برآیند و هرکدام را می‌بینند، اعلام کنند. هنگامی که خیلی دور بودند نمی‌توانستند حتی حشره‌های آشکارا را ببینند. همچنان که نزدیک می‌شدند ابتدا حشره‌های آشکارا را می‌دیدند، سپس آن‌ها را که در حد واسطه وضوح بودند، مانند سوسک، و سرانجام آن‌ها را که به خوبی استتار شده بودند.

1. stick insect

2. leaf-mimicking butterflies

حشره‌هایی که به بهترین وجهی استتار شده بودند، از شناسایی گریختند، حتی وقتی کودکان از فاصله نزدیک به آن‌ها خیره شده بودند.

مسافت تنها شبی (گرادیانی) نیست که می‌توان در موردش این‌گونه استدلال‌ها را به کار گرفت. هوای تاریک و روشن یکی دیگر از آن‌هاست. در تاریکی مطلق شب، تقریباً چیزی را نمی‌توان دید، و حتی یک شباهت بسیار خام مقلد به مدل به راحتی از دید پنهان می‌ماند. در وسط ظهر فقط مقلدی بسیار دقیق ممکن است از دیده پنهان بماند. میان این دو زمان، در طلوع و غروب آفتاب، در گرگ و میش هوا و یا در یک روز تیره ابری، در مه و یا در باد و باران، طیف پیوسته و همواری از قابلیت دید وجود دارد. بار دیگر، شباهتی که دقت آن به تدریج افزایش می‌یابد، از طریق انتخاب طبیعی حمایت می‌شود، زیرا به ازای هر شباهت مطلوبی، سطحی از قابلیت دید یافت می‌شود که آن خوبی شباهت باعث ایجاد همه تفاوت‌ها می‌شود. همچنان‌که تکامل به پیش می‌رود، شباهت‌هایی که به طور فزاینده‌ای بهتر می‌شوند، یک مزیت زنده‌مانی پدید می‌آورند، زیرا نور حیاتی برای گول خوردن به تدریج شدیدتر می‌شود.

زاویه دید شیب مشابهی را فراهم می‌آورد. حشره مقلد، مقلد خوب یا بد، گاهی از گوشه چشم یک جانور شکارگر دیده می‌شود. وقتی دیگر ممکن است از جهت بیرحمانه روبه‌رو دیده شود. باید زاویه دیدی وجود داشته باشد که به قدری جانبی است که در این حالت حتی ضعیف‌ترین حشره مقلد از دیده شدن می‌گریزد. باید زاویه دیدی وجود داشته باشد که به قدری مرکزی است که باهوش‌ترین حشره مقلد در خطر خواهد بود. در میان این دو زاویه یک شیب پیوسته، پیوستاری از زاویه‌ها، یافت می‌شود. به ازای هر درجه از کمال تقلید، یک زاویه بحرانی وجود دارد که

در آن زوایه، بهبود و یا عدم بهبودی مختصر، همه تفاوت‌ها و اختلاف‌ها را برقرار خواهد کرد. همچنان‌که تکامل به پیش می‌رود، از شباهت‌هایی حمایت می‌شود که کیفیتشان به‌طور فزاینده‌ای ارتقا می‌یابد، زیرا زاویه بحرانی برای این‌که امکان گول خوردن فراهم آید، به‌تدریج به مرکز نزدیک‌تر می‌شود.

کیفیت چشم‌ها و مغزهای دشمنان را می‌توان شیب دیگری محسوب کرد؛ پیش از این در بخش‌های اولیه این فصل به این موضوع اشاره‌ای کردیم. به‌ازای هر درجه از شباهت میان یک مدل و یک مقلد، این احتمال وجود دارد که باید چشمی وجود داشته باشد که گول بخورد و چشمی که گول نخواهد خورد. در این‌جا نیز، همچنان‌که تکامل به پیش می‌رود، شباهت‌هایی که کیفیت آن‌ها به‌تدریج ارتقاء پیدا می‌کند مطلوب‌تر و خواستنی‌تر می‌شوند، زیرا چشم‌های هرچه پیچیده‌تر شکارگرها را گول می‌زنند. منظورم این نیست که شکارگرها همزمان با بهبود تقلید چشم‌های بهتری پیدا می‌کنند، اگرچه این امکان وجود دارد. منظورم این است که در جایی شکارگرهایی با چشمان تیز و شکارگرهایی با چشم‌های ضعیف وجود دارد. همه این شکارگرها خطری را ایجاد می‌کنند. یک تقلید ضعیف، فقط یک شکارگر با چشمان ضعیف را گول می‌زند. یک تقلید خوب، تقریباً همه شکارگرها را گول می‌زند. در این میان یک پیوستار هموار وجود دارد. گفت‌وگو از چشمان ضعیف و قوی مرا به یاد معمای محبوب آفرینشگران می‌اندازد. فایده یک چشم نیمه‌کاره چیست؟ چگونه انتخاب طبیعی چشمی ناکامل را مطلوب می‌دارد؟ پیشتر به این پرسش پاسخ گفته‌ام و طیفی از چشم‌های متوسط را مطرح کرده‌ام که از میان آن‌هایی انتخاب شده که در واقع در شاخه‌های

تبارهای گوناگون جانوران وجود دارد. در این جا چشم را تحت عنوانی می‌گنجانم که از شیب‌های نظری ساخته‌ام. شیب، یا پیوستاری، از وظایفی وجود دارد که ممکن است چشم برای آن‌ها به کار آید. فعلاً دارم چشم‌هایم را برای تشخیص حروف الفبا، همچنان که بر صفحه کامپیوتر ظاهر می‌شوند، به کار می‌گیرم. چشمان خوب و با دید عالی برای این کار لازم است. به سنی رسیده‌ام که دیگر نمی‌توانم بدون کمک عینک، در حال حاضر از نوعی با عدسی‌هایی از نمرهٔ پایین ضعیف، بخوانم. همچنان که به سن و سالم افزوده می‌شود، توان عدسی عینک من پیوسته زیاد می‌شود. بدون عینک دیدن جزئیات از نزدیک، به تدریج و پیوسته برایم دشوارتر می‌شود. در این جا یک پیوستار دیگر، پیوستار سن وجود دارد.

هر انسان معمولی، هرچقدر هم پیر باشد، دید بهتری از حشره دارد. افرادی با دید ضعیف تا افراد تقریباً نابینا قادر به انجام برخی کارها و به خوبی کارآمد هستند. می‌توانید با دید کاملاً تاریک تنیس بازی کنید، زیرا توپ تنیس شیئی بزرگ است که موقعیت و حرکت آن را می‌توان دید، حتی اگر عدسی چشم‌ها نور را کانونی نکنند. چشمان سنجاقک‌ها اگرچه در چارچوب استانداردهای ما ضعیف‌اند، ولی با استانداردهای حشرات قوی است و سنجاقک می‌تواند حشرات را در حال پرواز شکار کند، کاری که به همان اندازهٔ ضربه زدن به یک توپ تنیس دشوار است. چشمان بسیار ضعیف‌تر را می‌توان برای اجتناب از برخوردن به یک دیوار، یا راه رفتن بر لبه یک پرتگاه و یا افتادن در رودخانه به کار گرفت. چشمانی که حتی ضعیف‌ترند می‌توانند تعیین کنند چه وقت یک سایه، که ممکن است یک ابر و یا حاکی از وجود یک شکارگر باشد، بالای سر

ظاهر می شوند. و چشمانی که هنوز هم ضعیف ترند، می توانند در خدمت تفاوت گذاری میان شب و روز به کار آیند، که در میان چیزهای دیگر، برای همزمانی با فصل تولیدمثل و دانستن زمان خواب مفید است. پیوستاری از وظایف وجود دارد که ممکن است چشم به آن گمارده شود، مانند این که برای هر نوع کیفیت چشم، از عالی تا بسیار ضعیف، سطحی از وظیفه وجود دارد که در آن یک بهبود جزئی در بینایی، تفاوت زیادی ایجاد می کند. بنابراین، هیچ مشکلی در فهمیدن تکامل تدریجی چشم، از سرآغاز ابتدایی و خام، تا پیوستار هموار حدواسطها، تا کمالی که در چشم شاهین و یک انسان جوان می بینیم، وجود ندارد.

بنابراین، پرسش آفرینشگران از این قرار که «فایده یک چشم نیمه کاره چیست؟» پرسش سبک سرانه ای به شمار می آید و پاسخ ساده ای دارد. نیمی از چشم ۱ درصد بهتر از چشم ۴۹ درصدی است که آن هم ۱ درصد از چشم ۴۸ درصدی بهتر است، و این تفاوت اهمیت دارد. به نظر می رسد وزنه سنگین تری در پس این استدلال مکمل گذاشته می شود: «من به عنوان یک فیزیکدان^۱ نمی توانم باور کنم که برای اندامی به پیچیدگی چشم ها زمان کافی وجود داشته است تا از هیچ تکامل پیدا کند.

۱. امیدوارم این موضوع کسی را نرنجانند. در تأیید نکته ای که گفتیم، این مطلب را از کتاب *علم و ایمان مسیحی* نوشته فیزیکدان برجسته، جناب جان پولکینگهورن (John Polkinghorne) (۹۹۴، صفحه ۱۶) می آورم:

«شخصی مانند ریچارد داوکینز می تواند تصاویر قانع کننده ای ارائه دهد مبنی بر این که چگونه انتخاب و تجمع تفاوت های کوچک می تواند به پیشرفتی در بزرگ مقیاس انجامد، ولی دانشور علوم فیزیکی به طور غریزی دوست دارد برآوردی از این به عمل آورد که چند گام ما را از سلولی که کمی به نور حساس است به یک چشم کامل حشره می رساند، و نیز برآوردی از شماره تقریبی نسل های لازم برای جهش های لازمی که باید پیش بیایند.»

آیا واقعاً فکر می‌کنید که زمان کافی وجود داشته است؟» هر دو پرسش از برهان معطوف به دیرباوری مشخصی ناشی می‌شود. باین‌حال، خوانندگان پاسخی می‌خواهند و من معمولاً به عظمت محض زمان زمین‌شناختی تکیه کرده‌ام. اگر یک گام نماینده یک قرن باشد، از زمان تولد حضرت مسیح تاکنون فاصله بیست متری پیموده شده است. برای رسیدن به جانوران پرسلولی در همین مقیاس، باید از نیویورک تا سانفرانسیسکو بروید.

اکنون به نظر می‌آید که خرد کردن عظمت زمان زمین‌شناختی مانند به‌کاربردن پتک بخاری^۱ برای شکستن پوست بادام زمینی است. پیاده رفتن از ساحل شرقی آمریکا به ساحل غربی آن، زمان لازم برای تکامل چشم را عملاً نمایش می‌دهد. ولی بنابر مطالعه‌ای که دو دانشورز سوئدی، دَن نیلسون و سوزان پلگر انجام داده‌اند، کسر بسیار کوچکی از زمان، زمان زیادی می‌بوده است. وقتی کسی می‌گوید «این» چشم، به‌طور ضمنی منظورش چشم مهره‌داران است، ولی چشمان توانا به تشکیل تصویر در میان گروه‌های مختلف بی‌مهرگان، چهل تا شصت بار، به‌طور مستقل از هیچ، تکامل یافته‌اند. در میان بیش از چهل دورهٔ تکامل مستقل، دست‌کم نه اصل طراحی واضح کشف شده است، ازجمله چشمانی که از یک منفذ ریز تشکیل یافته، دو نوع چشم شبیه عدسی دوربین عکاسی، چشمی شبیه بازتابگرهای منحنی («بشقاب ماهواره»)، و چندین نوع چشم مرکب. نیلسون و پلگر در زمینهٔ چشمان دوربین‌مانند با عدسی کار

۱. Steam hammer. پتک سنگینی که در آهن‌گری به کار می‌رود و بین دو ریل عمودی می‌لغزد و از نیروی بخار برای بالا بردن پتک و گاه برای شتاب دادن به سقوط آن (که در غیاب نیروی بخار با شتاب‌گرانش زمین سقوط می‌کرد) استفاده می‌شود.

کرده‌اند که در مهره‌داران و اختاپوس‌ها به‌خوبی تکامل یافته‌اند.

چگونه به تخمین زدن زمان لازم برای یک تغییر تکاملی معین دست می‌زنید؟ باید یک واحد برای اندازه‌گیری مقدار هرگام تکاملی بیاییم، و درست است که آن را به شکل درصد تغییر در آنچه پیش از این در آن جاست، بیان کنیم. نیلسون و پلگر عدد تغییرات پی‌درپی یک درصدی را به‌عنوان واحد خود برای اندازه‌گیری تغییرات کمیت‌های کالبدشناختی به‌کار بردند. این فقط یک واحد مناسب است – مانند کالری، که به مقدار انرژی لازم برای انجام مقدار معینی کار تعریف شده است. هنگامی که همه تغییر در یک بعد است، آسان‌ترین راه استفاده از واحد یک درصد است. در موارد بعید، مثلاً، هنگامی که انتخاب طبیعی از طول فزاینده دم مرغ بهشتی^۱ حمایت می‌کند، چند گام لازم است تا دم آن از یک متر به یک کیلومتر طولی تکامل یابد؟ یک درصد افزایش طول دم را پرند باز تقننی نخواهد دید. بااین حال، تعداد کمی از این گام‌ها لازم است تا دم او به یک کیلومتر، کمتر از هفتصد گام، برسد.

دراز شدن دم از یک متر به یک کیلومتر بسیار خوب (و بسیار بی‌معنی) است، ولی تکامل چشم را چگونه در همین مقیاس جای می‌دهید؟ مسئله این است که درمورد چشم، همزمان چیزهای زیادی می‌باید در بسیاری از بخش‌های مختلف انجام شود. وظیفه نیلسون و پلاگر این بود که مدل‌هایی کامپیوتری از تکامل چشمان بسازند تا به دو پرسش پاسخ دهند. اولین پرسش اساساً همان پرسشی است که ما بارها و بارها در چندین صفحه گذشته مطرح کردیم، ولی آن‌ها با استفاده از کامپیوتر به شیوه اصولی‌تری آن را پرسیدند: آیا یک شیب هموار تغییر، از

1. bird-of-paradise

یک پوست مسطح تا یک چشم دوربین عکاسی مانند، به طوری که هر شکل حدواسط پیشرفت باشد، وجود دارد؟ (برخلاف طراحان انسانی، انتخاب طبیعی نمی‌تواند سرازیری برود - حتی اگر یک سربالایی و سوسه‌آمیز در آن سوی دره باشد.) دوم این‌که، پرسشی که ما این بخش را با آن شروع کردیم، کمیت لازم تغییرات تکاملی چقدر طول می‌کشد؟ نیلسون و پلگر سعی نکردند در مدل‌های کامپیوتری‌شان طرز کار سلول‌ها را برانگیزند. آنان کار خود را پس از ابداع سلول انفرادی حساس به نور شروع کردند، اشکالی ندارد که آن را یک فوتوسل (سلول فوتوالکتریک) بنامیم. خیلی خوب خواهد بود که در آینده مدل کامپیوتری دیگری تهیه شود. این بار در سطح داخل یک سلول باشد تا نشان دهد که چگونه یک فوتوسل با تغییر و تبدیل گام به گام از یک سلول اولیه با کاربرد عمومی تر به وجود آمد. ولی باید از جایی شروع کنید، و نیلسون و پلگر پس از اختراع فوتوسل کار خود را شروع کردند. آن‌ها در سطح بافت‌ها تحقیق کردند: از سطح بافت‌هایی که از سلول‌ها تشکیل یافته‌اند، نه از سطح تک سلول‌ها. پوست بافت است، آستر روده‌ها، عضلات و کبد نیز به همین ترتیب‌اند. بافت‌ها می‌توانند بر اثر تأثیر جهش‌های اتفاقی به شیوه‌های مختلفی تغییر یابند. لایه‌های بافت‌ها می‌توانند در بعضی قسمت‌ها بزرگ‌تر و کوچک‌تر شوند. می‌توانند ضخیم‌تر و یا نازک‌تر شوند. به‌ویژه در مورد بافت‌های شفاف، ضریب شکست (نیروی خم کردن نور) بخش‌های موضعی بافت آن‌ها می‌تواند تغییر یابد.

زیبایی شبیه‌سازی یک چشم، در مقایسه با مثلاً ساق یک یوزپلنگ دونده، این است که کارآیی آن را، با استفاده از قوانین نورشناسی

مقدماتی، به آسانی می‌توان اندازه گرفت. چشم به شکل یک مقطع دو بعدی نمایش داده می‌شود و کامپیوتر به آسانی می‌تواند وضوح بینایی^۱، یا توان تفکیک فضایی^۲ آن را به شکل یک عدد واقعی محاسبه کند. رسیدن به یک نمایش عددی همانند برای کارآیی ساق یوزپلنگ یا ستون مهره‌ها بسیار دشوارتر است. نیلسون و پلگر با یک شبکه بر روی یک لایه صاف رنگدانه که روی آن یک لایه محافظ صاف و شفاف قرار داشت، شروع کردند. لایه شفاف می‌توانست در معرض جهش‌های اتفاقی موضعی ضریب شکستش قرار بگیرد. سپس، اجازه دادند که این مدل به‌طور اتفاقی از شکل بیفتد، و فقط ملزم به این شرط بود که هرگونه تغییر می‌باید کوچک بوده و باید نسبت به آنچه پیش از این بوده است یک بهسازی باشد.

نتایج سریع و قاطع بود. همچنان‌که شکل مدل چشم بر صفحه کامپیوتر تغییر شکل می‌داد، یک مسیر پیوسته فزاینده وضوح بینایی، بی‌تردید از آغاز هموار به یک گودی سطحی منجر می‌شد و سپس به یک فنجان که پیوسته رو به ژرف‌تر شدن می‌رفت. لایه شفاف ضخیم شد و فنجان را پر کرد و سطح بیرونی آن به تدریج به شکل یک منحنی برآمده درآمد. سپس، مانند یک شعبده‌بازی، بخشی از این ماده پرکننده شفاف به یک ناحیه کروی شکل موضعی با ضریب شکست بیشتر تبدیل شد. نه تنها به‌طور یکسان بالاتر بود، بلکه شیبی از ضریب شکست بود، به‌طوری‌که ناحیه کروی شکل، مانند یک عدسی با ضریب شکست تدریجی بسیار خوب عمل می‌کرد. عدسی‌های دارای ضریب شکست مدرج برای عدسی‌سازان انسانی ناشناخته است، ولی در چشم

1. visual acuity

2. spatial resolution

موجودات زنده امری معمولی است. انسان عدسی‌ها را با تراش شیشه به شکل معینی می‌سازد. ما با روی هم نهادن چندین عدسی، عدسی‌های مرکب می‌سازیم که ضخامت کل هریک از آن عدسی‌های یکسان است؛ مانند عدسی‌های گران‌قیمت دوربین‌های جدید. عدسی‌های با ضریب شکست تدریجی، برعکس این عدسی‌ها، ضریب شکستی دارند که درون رشد ماهیه^۱ خودش پیوسته در حال تغییر است. معمولاً ضریب شکست این عدسی‌ها در مرکز زیاد است. چشم ماهی‌ها عدسی‌هایی با ضریب شکست تدریجی دارد. اکنون مدت‌هاست که معلوم شده بهترین نتیجه بدون ابیرامی^۲ برای عدسی‌های دارای ضریب شکست تدریجی وقتی به دست می‌آید که یک **ارزش بهینه نظری** ویژه برای نسبت بین فاصله کانونی عدسی و شعاع آن به دست می‌آید. این نسبت را نسبت ماتیسسن^۳ می‌گویند. مدل کامپیوتری نیلسون و پلگر بدون هیچ خطایی به نسبت ماتیسسن رسید.

اکنون می‌رسیم به این پرسش که همه این تغییرات تکاملی چقدر طول کشیده است. نیلسون و پلگر برای پاسخ به این پرسش ناگزیر فرض‌هایی را در مورد ژنتیک در جمعیت‌های طبیعی به‌جا آوردند. آنان نیاز داشتند در مدل خود مقادیری امکان‌پذیر از کمیت‌هایی چون «وراثت‌پذیری» را وارد کنند. وراثت‌پذیری معیاری است از این‌که تغییرات تا چه حد تحت تأثیر وراثت قرار دارند. روش مطلوب اندازه‌گیری آن از این قرار است که ببینیم تا چه حد دوقلوهای مونوزیگوتیک (یعنی دوقلوهای همسان) در مقایسه با دوقلوهای عادی به همدیگر شبیه‌اند. در یک بررسی معلوم شد که

1. substrate

2. aberration

3. Mattiessen's ratio

وراثت‌پذیری طول ساق پا در انسان‌های مذکر ۷۷ درصد است. وراثت‌پذیری ۱۰۰ درصد به این معنی است که می‌توانید اندازه ساق پای یکی از دو همزاد همسان را اندازه بگیرید تا از ساق پای همزاد دیگر اطلاع کامل به دست آورید، اگرچه همزادها جدا از هم بزرگ شده باشند. وراثت‌پذیری صفر درصد به این معنی است که شباهت ساق پای دو قلوهای همسان با هم بیشتر از ساق پای افرادی نیست که به طور اتفاقی در یک جمعیت مشخص در یک محیط معین انتخاب شده‌اند. برخی موارد وراثت‌پذیری که برای انسان‌ها اختیار شده‌اند، عبارت‌اند از ۹۵ درصد برای پهنای سر، ۸۵ درصد برای ارتفاع نشستن، ۸۰ درصد برای طول بازو، و ۷۹ درصد برای قد.

موارد وراثت‌پذیری غالباً بیشتر از ۵۰ درصدند و نلسون و پلگر کارشان درست بود که وراثت‌پذیری ۵۰ درصد را در مدل چشمی خود وارد کردند. این یک فرض محافظه‌کارانه و یا «بدبینانه» بود. یک فرض بدبینانه در مقایسه با یک فرض واقع‌بینانه‌تر، مثلاً ۷۰ درصد، برآورد زمان نهایی برای تکامل چشم را افزایش می‌دهد. آن‌ها در مورد برآورد زیاده از حد می‌خواستند خطا داشته باشند، زیرا ما به طور ذاتی در مورد تخمین‌های کوتاه از مدت زمان تکامل یافتن چیزی به پیچیدگی یک چشم شکاک هستیم.

به همین دلیل، آنان ارقام بدبینانه را برای ضریب تغییرات (یعنی در این جمعیت چقدر تغییرات وجود دارد) اختیار کردند و شدت انتخاب (مقدار مزیت زنده‌مانی که دید بهبودیافته را فراهم می‌آورد). آنان تا حدی پیش رفتند که فرض کردند هر نسل جدید فقط در هر زمان در یک بخش از چشم اختلاف پیدا می‌کند: تغییرات همزمان در بخش‌های

مختلف چشم، که تکامل را بسیار سرعت می‌بخشید، ممنوع شد. حتی با این فرض‌های محافظه‌کارانه، مدت زمان لازم برای تکامل چشم ماهی از یک پوست صاف جزئی بود: کمتر از چهارصد هزار نسل. برای انواع جانوران کوچکی که ما از آن صحبت می‌کنیم، می‌توانیم یک نسل را در هر سال فرض کنیم. بنابراین به نظر می‌رسد که کمتر از نیم میلیون سال طول می‌کشد تا یک چشم دوربین مانند، به خوبی تکامل یابد.

در پرتو نتایج نیلسون و پلگر، نباید تعجب کرد که «چشم» دست‌کم چهل بار به‌طور مستقل در سلسله جانوران تکامل یافته است. به‌قدر کافی مجال داشته است تا از ابتدا هزار و پانصد بار پی‌درپی در هر تبار^۱ تکامل پیدا کند. با فرض فاصله معمولی برای جانوران کوچک، زمان لازم برای تکامل چشم، با آن‌همه وسعتش نیازی به ساده‌لوحی نیست، معلوم می‌شود که کوتاه‌تر از آن است که زمین‌شناسان بتوانند آن را اندازه بگیرند! یک چشم برهم‌زدن زمین‌شناختی است.

در نهان نیکویی می‌کن. سیمای کلیدی تکامل، تدریجی بودن آن است. این موضوعی اصولی است تا یک حقیقت. ممکن است در مواردی تکامل یک چرخش ناگهانی داشته یا نداشته باشد. ممکن است فواصلی از تکامل سریع و حتی جهش‌های خرد و ناگهانی وجود داشته باشد. تغییرات عمده‌ای که کودکی را از هر دو والدینش جدا می‌کند. به‌طور قطعی انقراض‌های ناگهانی وجود دارد – که شاید در اثر بلاهای طبیعی ناگهانی مانند برخورد ستارگان دنباله‌دار با زمین پیش آمده باشد – و این‌ها حلا‌هایی را ایجاد می‌کنند که باید با جانشین‌هایی در حال بهتر شدن پر شوند، همچنان‌که پستانداران جایگزین دایناسورها شدند. در

1. lineage

واقع، امکان زیادی وجود دارد که تکامل همیشه تدریجی نباشد. ولی هنگامی که برای توضیح به وجود آمدن اندام‌های ظاهراً طراحی شده، مانند چشم، به کار می‌رود، باید تدریجی باشد؛ زیرا، در این موارد تدریجی نیست، و از داشتن هرگونه نیروی توضیح دهنده‌ای باز می‌ایستد. در این موارد بدون تدریجی بودن، به اعجاز برمی‌گردیم که صرفاً مترادف با فقدان کامل هرگونه توضیح است. دلیل تأثیرگذاری چشم‌ها و ارکیده‌هایی بر ما که گرده‌افشانی آن‌ها به کمک زنبور انجام می‌شود، این است که نامحتمل‌اند. احتمال این‌که به‌طور خودبه‌خود و بر اثر تصادف به وجود آمده باشند بیش از حد زیاد است تا در این جهان انجام شده باشد. تکامل تدریجی در مراحل کوتاه‌مدت، که هر مرحله خوش‌اقبال بوده ولی نه زیاد خوش‌اقبال، راه‌حل این معماست. ولی اگر تدریجی نباشد، راه‌حلی برای این معما وجود ندارد: بلکه دوباره‌گویی این معماست.

گاهی فکر کردن به این‌که ممکن است حدواسط‌های تدریجی چگونه بوده باشند، دشوار است. این موارد چالشی برای هوش ماست، اما اگر هوش ما دریمانند، بدا به حالش. این دلیل بر وجود مدرکی نیست که حدواسط‌های تدریجی وجود نداشتند. یکی از دشوارترین چالش‌ها در برابر هوش ما به هنگام فکر کردن به حدواسط‌های تدریجی از طریق «رقص زبانی» مشهور زنبورهاست که در پژوهش‌های کلاسیک کشف شد و کارل فون فریش به‌خاطر آن‌ها مشهور است. در این جا، به‌نظر می‌رسد که محصول نهایی تکامل به‌قدری پیچیده، به‌قدری هوشمندانه و چندان دور از هر چیزی است که معمولاً از یک حشره انتظار انجامش را داریم، که تصور حدواسط‌ها بسیار دشوار است.

زنبورهای عسل جای گل‌ها را با رقصی که به دقت رمزگذاری شده به همدیگر نشان می‌دهند. اگر غذا خیلی نزدیک کندو باشد، «رقص دایره‌وار» انجام می‌دهند. این کار زنبورهای دیگر را تحریک می‌کند، و به سرعت بیرون می‌آیند و در اطراف کندو به جست‌وجو می‌پردازند. ولی اتفاق بسیار درخور توجه وقتی پیش می‌آید که غذا بسیار دورتر از کندو باشد. زنبوری که غذا را کشف کرده، رقص به اصطلاح پیچشی را انجام می‌دهد، که شکل و زمان آن هم جهت جغرافیایی و هم فاصله کندو از غذا را به زنبورهای دیگر می‌نمایاند. رقص پیچشی در درون کندو و در سطح شانه‌ها انجام می‌شود. درون کندو تاریک است، بنابراین زنبورهای دیگر رقص پیچشی را نمی‌بینند، بلکه آن را حس می‌کنند و می‌شنوند، زیرا زنبوری که می‌رقصد، رقصش با وزوزهای کوتاه و آهنگینی همراه است. رقص به شکل عدد هشت لاتین است، و در وسط آن یک حرکت مستقیم انجام می‌شود. این مسیر حرکت مستقیم است که به شکل یک رمز زیرکانه، جهت غذا را نشان می‌دهد.

حرکت مستقیم رقص اشاره مستقیمی به غذا نمی‌کند. یعنی نمی‌تواند اشاره بکند، زیرا رقص بر سطح عمودی شانه کندو انجام می‌شود و شانه‌ها درون کندو ثابت‌اند، بدون توجه به این‌که غذا در کجاست. غذا را باید در یک سطح عمودی یافت. شانه عمودی به نقشه‌ای می‌ماند که به دیوار کوبیده شده است. خطی که بر نقشه دیوار کشیده شده است، به‌طور مستقیم به یک مقصد معین اشاره نمی‌کند، بلکه می‌توانید نقشه را برپایه یک توافق قراردادی بخوانید.

برای فهمیدن این قرارومداری که زنبورها بر سر آن به توافق می‌رسند، باید بدانید که زنبورها، مانند بسیاری حشرات دیگر، با استفاده از

خورشید به عنوان قطب نما جهت یابی می کنند. ما نیز تقریباً به همین شیوه همین کار را می کنیم. این روش دو عیب دارد: نخست، خورشید اغلب در پس ابرها پنهان است. زنبورها این مسئله را به کمک حسی که ما آن را نداریم حل می کنند. باز هم این فون فریش بود که کشف کرد زنبورها می توانند جهت قطبش نور را ببینند و این توانایی به آن ها می گوید که خورشید کجاست، حتی اگر خورشید نامرئی باشد. دومین مسئله قطب نمای خورشیدی این است که همچنان که زمان سپری می شود، خورشید در پهنه آسمان «حرکت می کند». زنبورها این مشکل را با استفاده از یک ساعت درونی حل می کنند. فون فریش، با ناباوری پی برد که زنبورهای رقصنده که ساعت ها پس از سفر در جست و جوی خوراک در درون کندو مانده اند، به آهستگی در جهت حرکت مستقیم رقص می چرخند، گویی که این حرکت عقربه یک ساعت دیواری بیست و چهار ساعتی است. آن ها نمی توانند خورشید را در درون کندو ببینند، ولی به آهستگی جهت رقص خود را زاویه می دادند تا این که با حرکت خورشید هماهنگ باشند که ساعت درونی شان می گفت که در خارج دارد حرکت می کند. شگفت آور این که نژادهای زنبور در نیمکره جنوبی همین کار را، درست همان طور که باید، به طور معکوس انجام می دهند.

اکنون به خود رمز رقص باز می گردیم. حرکت مستقیم رقص به بالای شانه کندو، علامت آن است که غذا در همان جهت خورشید قرار دارد. حرکت مستقیم به پایین علامت این است که غذا در جهت دقیقاً مخالف واقع شده است. همه زاویه های حد واسط نشانه همان چیزی است که انتظار دارید. پنجاه درجه به سمت چپ صفحه عمودی، به معنی ۵۰ درجه به سمت چپ جهت خورشید در صفحه افقی است. در هر حال،

دقت این رقص به نزدیک این درجات نمی‌رسد. چرا برسد؟ زیرا توافق قراردادی ما این است که قطب‌نما را به 360° درجه تقسیم کنی. زنبورها قطب‌نما را به 8° درجه زنبوری تقسیم می‌کنند. درواقع این تقریباً همان کاری است که وقتی انجام می‌دهیم که ناوبر^۱ حرفه‌ای نیستیم. قطب‌نمای غیررسمی خود را به هشت ربع دایره تقسیم می‌کنیم: شمال، شمال شرقی، شرق، جنوب شرقی، جنوب، جنوب غربی، غرب، شمال غربی. رقص زنبورها فاصله تا غذا را نیز به رمز بیان می‌کند. یعنی، بین جنبه‌های مختلف رقص – میزان چرخش، میزان پیچش، میزان وزوزکردن – با فاصله تا غذا رابطه برقرار است، و بنابراین، هریک از آن‌ها و یا ترکیبی از هریک از آن‌ها می‌تواند برای فهمیدن فاصله توسط زنبورهای دیگر به کار رود. هرچه غذا نزدیک‌تر باشد، رقص تندتر است. می‌توانید این موضوع را با تأمل درباره این نکته به‌خاطر بسپارید که انتظار می‌رود زنبوری که غذایش را در نزدیکی کند و یافته، هیجان‌زده‌تر و کمتر خسته باشد تا زنبوری که غذایش را در یک مسافت طولانی پیدا کرده است. این نکته فراتر از کمکی به حافظه است، بلکه همان‌طور که خواهیم دید ما را راهنمایی می‌کند به این‌که چگونه رقص تکامل یافته است.

به‌طور خلاصه، زنبوری که در جست‌وجوی غذاست منبع غذای خوبی را پیدا می‌کند. او درحالی‌که پر از بار شهد و گرده است به کندو برمی‌گردد و بار خود را به کارگران دریافت‌کننده تحویل می‌دهد. سپس رقص خود را شروع می‌کند. در جایی از شانه عمودی کندو، مهم نیست کجا، او به شکل عدد هشت لاتین با سرعت می‌چرخد و می‌چرخد. بقیه زنبورهای کارگر به دور او جمع می‌شوند، و حس خود را به کار می‌اندازند

1. navigator

و گوش فرامی دهند. آن‌ها میزان وزوزکردن و شاید میزان چرخش را می‌شمارند. درحالی‌که رقصنده شکمش را می‌جنباند آن‌ها زاویه حرکت مستقیم رقص را، نسبت به سطح عمودی، اندازه می‌گیرند. سپس، به طرف در کندو می‌روند و از تاریکی به سوی روشنایی آفتاب هجوم می‌برند. وضعیت خورشید را - نه در ارتفاع عمودی آن، بلکه حالت قطب‌نما بودن در صفحه افقی - را مشاهده می‌کنند. سپس در یک خط مستقیم پرواز می‌کنند، که زاویه آن نسبت به خورشید مطابق با زاویه رقص زنبور نسبت به صفحه عمودی در شانه کندو است. در همین جهت به پرواز ادامه می‌دهند، نه در مسافتی نامحدود، بلکه مسافتی که نسبت (معکوس) با (لگاریتم) میزان وزوزکردن رقصنده اصلی دارد. جالب است که اگر زنبور اصلی از مسیر انحرافی به جست‌وجوی غذا رفته باشد، رقص خود را نه در جهت مسیر انحرافی، بلکه در جهت مسیری که از روی قطب‌نما بازسازی شده انجام می‌دهد.

باور کردن داستان زنبورهای رقصنده دشوار است، و بعضی‌ها آن را باور ندارند. من به شکاکان، و به آزمایش‌های اخیر که سرانجام شواهد و مدارک آن را اثبات کرد، در فصل آینده باز خواهم گشت. در این فصل می‌خواهم تکامل تدریجی رقص زنبورها را توضیح دهم. مراحل حدواسط رقص در تکامل آن احتمالاً چگونه بوده است، و هنگامی که رقص هنوز ناقص بوده چه و چگونه تأثیری داشته است؟

شیوه جمله‌بندی این پرسش کاملاً درست نیست. هیچ موجودی با «ناقص» بودن، و «در مرحله حدواسط بودن» زنده نمی‌ماند. زنبورهای دیرینه، مدت‌های زیادی است مرده‌اند و با گذشته‌نگری می‌توان رقص آن‌ها را همچون حدواسط‌هایی تفسیر کرد که در مسیر زنبورهای رقصنده

امروزین بودند، و زندگی مطلوبی داشتند. آن‌ها حیات کامل یک زنبور را طی می‌کردند و هیچ‌گاه به این فکر نمی‌افتادند که «در مسیر» چیزی «بهرتر» قرار دارند. علاوه بر آن، زنبورهای «امروزی» ممکن است آخرین کلام در این موضوع نباشند، بلکه به هنگامی که ما و زنبورهایمان رفته‌ایم، به چیزی حتی دیدنی‌تر تکامل یابد. با این حال، این معما در برابرمان قرار دارد که چگونه زنبورهای کنونی در مراحل تدریجی تکامل یافتند. آن‌ها حد واسطه‌های تدریجی چه شکلی بودند، و چگونه کار می‌کردند؟

فون فریش خودش به این مبحث پرداخته، و با جست‌وجو در اطراف شجرهٔ خانوادگی عموزاده‌های دور زنبور عسل‌های امروزی با آن درگیر شده است. این زنبورها نیاکان زنبور عسل نیستند، بلکه معاصران آن‌ها بودند. ولی ممکن است از بعضی خصوصیات نیاکانشان برخوردار باشند. خود زنبور عسل یک حشره منطقه معتدله است که در تنهٔ درختان پوک یا در غارها برای سرپناه لانه می‌سازد. نزدیک‌ترین خویشاوند آن زنبورهای حاره‌ای‌اند که می‌توانند در فضای باز لانه بسازند، و شانه‌های خود را از شاخه درختان یا برجستگی‌های صخره‌ها بیاویزند. بنابراین، در هنگام رقص می‌توانند خورشید را ببینند و مجبور نیستند به قرارداد صفحه عمودی که «به معنای» جهت خورشید است، متوسل شوند. خورشید می‌تواند در جای خود باشد.

یکی از این خویشاوندان حاره‌ای، زنبور کوتوله^۱ بر صفحه افقی بالای شانه می‌رقصد. حرکت مستقیم رقص مستقیماً به سوی غذا اشاره دارد. نیازی به یک نقشه قراردادی نیست، اشاره مستقیم کافی است. مطمئناً یک مرحله انتقالی احتمالی در مسیر تکامل به زنبور عسل، ولی هنوز

1. Apis florea

هنوز هم باید درباره حدواسط‌های دیگر، پیش و پس از این مرحله، بیندیشیم. پیشروان رقص زنبور کوتوله چه چیزهایی می‌توانستند باشند؟ چرا زنبوری که به تازگی غذا یافته است، باید به شکل عدد هشت به اطراف پرواز کند که حرکت مستقیم آن اشاره به سوی غذاست؟ نظریه این است که این شکل متداول برخاستن از زمین است. نظریه فون فریش از این قرار است که پیش از آن‌که رقص تکامل یابد، زنبوری که تازه بار غذا را خالی کرده است اصلاً در همان جهت از زمین بلند می‌شود تا این‌که به سوی منبع غذا پرواز کند. هنگام آماده شدن برای پریدن در هوا، چهره‌اش را در جهت صحیح می‌گرداند و ممکن است چند قدمی راه برود. انتخاب طبیعی از هرگونه گرایش به مبالغه یا طولانی شدن برخاستن از زمین، اگر زنبورهای دیگر را تشویق به دنبال‌روی می‌کرد، حمایت می‌شد. شاید رقص یک نوع برخاستن مکرر از زمین در قالب متداول است. این کار امکان‌پذیر است، زیرا زنبورها چه از رقص استفاده نکنند یا خیر، اغلب از ترفند مستقیم‌تری سود می‌جویند که دنبال کردن همدیگر تا منبع غذایی است. حقیقت دیگری که این فکر را محتمل می‌کند این است که زنبورهای رقصنده بال‌های خود را کمی باز می‌کنند، گویی آماده پروازند، آن‌ها عضله‌های بال‌هایشان را به ارتعاش درمی‌آورند، اما نه به شدت کافی تا به پرواز درآیند، بلکه به اندازه کافی تا صدایی را ایجاد کنند که بخش مهمی از علامت رقص است.

راه و روش بدیهی طولانی و مبالغه کردن در برخاستن از زمین، تکرار آن است. تکرار یعنی بازگشت به شروع پرواز و دوباره در جهت غذا چند گام برداشتن. دو راه برای بازگشت به شروع پرواز وجود دارد: در انتهای زمین پرواز می‌توان به سمت راست یا چپ پیچید. اگر پیوسته به راست و

یا به چپ بپیچید، جهت واقعی بلند شدن از زمین و جهت سفر بازگشت به نقطه آغاز برخاستن از زمین مبهم خواهد بود. بهترین شیوه برای برطرف کردن این ابهام، پیچیدن به سمت چپ و راست به‌طور متناوب است. انتخاب طبیعی الگوی هشت به همین ترتیب است.

ولی چگونه رابطه میان فاصله غذا و میزان رقصیدن تکامل یافت؟ اگر بین میزان رقصیدن با فاصله غذا رابطه مثبتی برقرار بود، توضیح آن دشوار می‌شد. ولی، به‌خاطر داشته باشید که قضیه برعکس است. هرچه که غذا نزدیک‌تر باشد، رقص سریع‌تر است. این موضوع بی‌درنگ شیوه احتمالی تکامل تدریجی را القاء می‌کند. پیش از آن‌که رقص کامل تکامل یابد، زنبورهای آورنده غذا ممکن است تکرار مراسم برخاستن از زمین را انجام می‌دادند، اما نه در هیچ سرعت معینی. میزان سرعت رقص احتمالاً بستگی به این می‌داشت که آن‌ها چه احساسی داشتند. اگر از چندین کیلومتر دورتر به خانه برگشته بودید، و تا خرخره پراز شاهد و گرده بودید، آیا دوست داشتید با حداکثر سرعت در اطراف شانه پرواز کنید؟ نه، به احتمال زیاد بسیار خسته بودید. ازسوی دیگر، اگر یک منبع غذایی فراوان را در فاصله نسبتاً نزدیک کندو پیدا کرده بودید، سفر کوتاه‌مدتتان به سوی خانه، شما را سرحال و پرانرژی نگه می‌داشت. تصور این‌که یک رابطه اتفاقی اولیه میان فاصله غذا و کندی رقص به شکل یک رمز قابل اعتماد رسمی تبدیل شده است، دشوار نیست.

اکنون می‌رسیم به چالش برانگیزترین همه حدواسط‌ها. چگونه یک رقص دیرینه که در آن حرکت مستقیم یک‌راست به سوی غذا اشاره دارد، به رقصی تبدیل می‌شود که رمزی برای زاویه مکان غذا نسبت به خورشید می‌شود. چنین تغییری ضروری بود؛ بخشی به این علت که

درون کندو تاریک است و خورشید دیده نمی‌شود، و بخشی به این علت که هنگام رقص بر یک شانه عمودی نمی‌توان به‌طور مستقیم به‌سوی غذا اشاره کرد، مگر آن‌که صفحه‌ی شانه هم به‌سوی غذا نشانه رود. ولی فقط کافی نیست که نشان دهیم بعضی از این تغییرات ضروری بود. هم‌چنین باید توضیح دهیم که چگونه این تغییر دشوار از طریق یک رشته احتمال از حدواسط‌های گام‌به‌گام انجام شد.

به‌نظر گیج‌کننده می‌آید، ولی یک حقیقت واحد در مورد دستگاه عصبی حشره به کمک می‌آید. آزمایش چشمگیر زیر بر روی انواع حشرات، از سوسک‌ها تا مورچگان، انجام شده است. با یک سوسک که بر سطح افقی تخته‌ای چوبی در برابر روشنایی لامپ راه می‌رود، شروع می‌کنیم. اولین چیزی که نمایان می‌شود از این قرار است که حشره از یک قطب‌نمای نوری سود می‌جوید. جای لامپ را عوض کنید، حشره مسیرش را به همان نسبت تغییر می‌دهد. مثلاً، اگر با لامپ زاویه ۳۰ درجه داشت، مسیرش را تغییر خواهد داد تا همان زاویه ۳۰ درجه را نسبت به موضع جدید لامپ بسازد. در واقع، با استفاده از نور لامپ به‌عنوان یک سکان، می‌توانید سوسک را به طرفی که می‌خواهید بچرخانید. این واقعیت را مدت‌هاست در مورد حشرات شناخته‌اند: آن‌ها از خورشید (یا ماه، یا ستارگان) به‌عنوان قطب‌نما استفاده می‌کنند، و می‌توان با لامپ روشنایی به‌آسانی گولشان زد. اکنون نوبت آزمایشی جالب رسیده است. لامپ را خاموش کنید و در همان موقع تخته را به حالت قائم درآورید. سوسک بدون واهمه به راه‌رفتن ادامه می‌دهد. و شگفت آن‌که جهت راه رفتنش را تغییر می‌دهد، به‌طوری‌که زاویه‌اش نسبت به صفحه‌ی عمودی مانند زاویه پیشین آن نسبت به نور باشد که در

مثال ما ۳۰ درجه است. هیچ‌کس نمی‌داند که چرا این اتفاق می‌افتد؛ ولی رخ می‌دهد. به‌نظر می‌رسد که افشای یک تغییر اتفاقی در دستگاه عصبی حشره است - یک سردرگمی حواس، اتصالاتی بین سیم‌های احساس گرانث و احساس نور، کمی مانند وقتی که پس از ضربه خوردن به سرمان برق یک نور را می‌بینیم. در هر حال، احتمالاً پل لازم برای تکامل، رمز «سطح عمودی برای خورشید» رقص زنبور عسل را فراهم آورد.

اگر چراغ درون کندو را روشن کنید، زنبور عسل حس گرانث خود را رها و در رمز خود از جهت نور به‌طور مستقیم برای خورشید استفاده می‌کند، که نکته آشکارکننده‌ای است. این حقیقت که مدت‌ها شناخته شده بود، یکی از مبتکرانه‌ترین آزمایش‌هایی است که تاکنون انجام شده است؛ آزمایشی که سرانجام ثابت کرد رقص زنبور واقعاً درست است. من در فصل آینده به آن خواهم پرداخت. در همین ضمن ما یک رشته حدواسطه‌های تدریجی احتمالی یافته‌ایم که زنبورهای رقصنده امروزی ممکن است از طریق آن‌ها از انواع ساده‌ترشان تکامل یافته باشند. در واقع، ممکن است توضیحی را که برایتان دادم، و بر پایه نظریه‌های فون فریش استوار است، صحیح نباشند. ولی قطعاً چیزی کمی شبیه به آن رخ داده است. این توضیح را در پاسخ به شکاکیت طبیعی گفتم - برهان معطوف به ناباوری - که نزد افرادی یافت می‌شود که با یک پدیده هوشمندانه، یا پیچیده طبیعی مواجه می‌شوند. شکاکان می‌گویند: «من نمی‌توانم یک رشته حدواسطه‌های احتمالی را تصور کنم، بنابراین آن‌ها اصلاً وجود نداشته‌اند، و این پدیده به واسطه معجزه‌ای خلق‌الساعه پیدا شده است.» فون فریش یک رشته حدواسطه‌های احتمالی را ارائه داده است. حتی اگر رشته‌های کاملاً صحیحی نباشند، این حقیقت که به‌قدر

کافی احتمال روی دادن آن‌ها می‌رود، کافی است استدلال ناباوری شخصی را رد کنیم. همین مورد درباره همه مثال‌های دیگری که به آن‌ها پرداختیم، از ارکیده‌های مقلد زنبور تا چشم‌های دوربین مانند، صدق می‌کند.

هر تعدادی از حقایق کمیاب و عجیب طبیعت می‌تواند از جانب کسانی که به داروینیسیم تدریجی شک دارند، دست‌چین شود. مثلاً، از من درخواست شده است تکامل تدریجی موجوداتی را توضیح دهم که گودال‌های ژرف اقیانوس آرام زیست‌گاهشان است، جایی که روشنایی نیست و فشار آب ممکن است از ۱۰۰۰ اتمسفر هم بیشتر باشد. جامعه کاملی از جانوران در پیرامون جریان‌های آتشفشانی داغ در عمق گودال‌های اقیانوس آرام رشد می‌کنند. زیست شیمی بدیل کاملی از طریق باکتری‌ها پدید می‌آورد، که از گرمای این جریان‌ها و تبدیل کردن گوگرد به سوخت‌وساز، به جای اکسیژن مصرف می‌کند. جامعه جانوران بزرگ‌تر در نهایت به این باکتری‌های گوگردی وابستگی دارند، درست همان‌طور که حیات متداول برای اخذ انرژی از خورشید به گیاهان سبز وابسته است.

جانوران جامعه گوگردی جملگی از خویشاوندان جانوران معمولی‌اند که در جاهای دیگر زندگی می‌کنند. آن‌ها چگونه و از طریق چه مراحل حدواسطی تکامل یافتند؟ بسیار خوب، شکل استدلال دقیقاً شبیه همان استدلال پیشین خواهد بود. آنچه برای توضیح خود لازم داریم، دست‌کم یک شیب طبیعی است، و همچنان‌که در اقیانوس فرو می‌رویم، شیب‌ها فراوان‌تر می‌شوند. هزار اتمسفر، فشار دهشتناکی است، ولی از نظر کمی فقط از ۹۹۹ اتمسفر بیشتر است، که آن‌هم از نظر کمی از ۹۹۸ اتمسفر

بیشتر است، و همین‌طور الی آخر. کف اقیانوس شیبی به عمق صفر سانتی‌متر دارد و همین‌طور از حدواسط‌ها تا ۱۰۰۰۰ متر ادامه می‌یابد. شدت نور هم از روشنایی روز روشن در مجاورت سطح آب تا تاریکی مطلق در ژرفای آن، جز از گروه‌های کمیاب باکتری‌های نورافشان در اندام‌های ماهی‌های درخشان به آرامی تغییر می‌کند. هیچ‌گونه مرز قطعی وجود ندارد. برای هر سطح از فشار و تاریکی که با آن سازگاری یافته است، یک طرح از جانور یافت می‌شود که اندکی از جانور موجود متفاوت است، که می‌تواند یک متر عمیق‌تر، یک لومن^۱ تاریک‌تر زنده بماند. این فصل بیش از حد طولانی شد. واتسون^۲ شما روش مرا می‌دانید. آن را به کار گیرید.

۱. Lumen. یکای شار درخششی در دستگاه بین‌المللی یکاها با نماد lm ، که بنابراین تعریف، عبارت است از شار گسیلیده از یک چشمه نقطه‌ای یک شمعی در زاویه فضایی یک استرادیان. م.

۲. جان واتسون (John H. Watson) معروف به دکتر واتسون، یکی از شخصیت‌های داستان‌های شرلوک هلمز نوشته آرتور کانن دوپل. او دوست، همخانه و همکار شرلوک و راوی برخی از قصه‌های شرلوک هلمز است. م.



کارکرد تسهیلاتی خداوندگار

کشیش طرف مکاتبه من در فصل پیشین، ایمان خود را از طریق یک زنبور به دست آورد. چارلز داروین ایمان خود را به کمک زنبور دیگری از دست داد. داروین نوشت: «نمی‌توانم خودم را قانع کنم که خداوند رحمان و قادر از روی یک طرح زنبورهای عقربی^۱ را خلق کرده است، با این نیت صریح که از بدن زنده کرم پيله ساز^۲ تغذیه کند.» راستش از دست دادن تدریجی ایمان داروین، که از بیم ناراحت کردن زن دیندارش اِما، آن را کم‌اهمیت جلوه می‌داد، دلایل پیچیده‌تری داشت. اشاره او به زنبورهای عقربی کوتاه‌قامت بود. عادت ترسناکی که او به آن اشاره کرده است عموزاده‌هایشان، یعنی زنبورهای حفار، هم دارند که در فصل پیشین با آن‌ها آشنا شدیم. زنبور حفار ماده نه‌تنها تخم‌هایش را در کرم پيله ساز (یا ملخ، یا زنبور) می‌گذارد تا کرمینه‌اش بتواند از آن تغذیه کند، بلکه برطبق پژوهش‌های فابر و دیگران، نیش خود را به‌دقت در هریک از عقده‌های دستگاه اعصاب مرکزی طعمه خویش فرو می‌برد، تا فلجش کند، اما او را نکشد. به این ترتیب، گوشت آن تازه می‌ماند. معلوم نیست که این فلج شدن مانند یک بیهوشی عمومی عمل می‌کند، یا این‌که مانند کورار توانایی حرکت طعمه را متوقف می‌کند. در حالت اخیر، ممکن است طعمه از اینکه دارد زنده‌زنده خورده می‌شود آگاه باشد، ولی نتواند

1. Ichneumonidae

2. Caterpillar

هیچ یک از عضلاتش را حرکت دهد و یا کاری در این باره انجام دهد. ممکن است این عمل به نحو بی رحمانه‌ای خشن باشد، ولی همچنان که خواهیم دید، طبیعت خشن نیست، بلکه به طور بی رحمانه‌ای بی تفاوت است. این امر یکی از سخت‌ترین درس‌هایی است که انسان‌ها یاد می‌گیرند. نمی‌توانیم بپذیریم که امور ممکن است نه خوب باشند و نه شر، نه خشن و نه مهربان، بلکه نسبت به همه رنج‌ها فقط سنگدل-بی تفاوت، و بدون هدف باشد.

آدمیان در مغز خود هدف دارند. می‌بینیم دشوار است به چیزی نگاه کنیم بدون آن‌که با حیرت پرسیم این «برای» چیست، انگیزه‌اش چیست، یا هدف پشت آن چیست. هنگامی که وسواس فکری معطوف به هدف به حالت مرضی تبدیل می‌شود، آن را **روان‌گسیختگی**^۱ می‌گویند - هدف بدخواهانه‌ای را در چیزی می‌بیند که در واقع نوعی نگون‌بختی اتفاقی است. ولی این فقط شکلی اغراق‌آمیز از یک توهم تقریباً کلی است. تقریباً هر شئی یا فرآیندی را به ما نشان دهید، برای ما مقاومت درباره پرسش «چرا؟» - «برای چه کاری؟» دشوار است.

میل به دیدن هدف در هر کجا یک میل طبیعی در جانوری است که از ماشین‌ها، آثار هنری، ابزارها، و مصنوعات طراحی شده احاطه شده است؛ جانوری که هدف‌های شخصی در بیداری بر افکارش چیره‌اند. خودرو، وسیله در کنسرو بازکن، پیچ‌گوشتی، و چنگال، همگی متضمن این پرسش مشروع‌اند: «برای چه کاری است؟». اجداد مشترک ما همین پرسش‌ها را در مورد رعدوبرق، کسوف و خسوف، صخره‌ها و رودخانه‌ها مطرح می‌کردند. اکنون، به خودمان مباحثات می‌کنیم که باور ابتدایی به

1. paranoia

وجود روح در آن‌ها را به دور انداخته‌ایم. اگر به‌طور اتفاقی از سنگی در رودخانه به‌عنوان جای پا استفاده کردیم، فایده آن را چون پاداشی تصادفی می‌بینیم و نه یک هدف واقعی. ولی وقتی دچار یک مصیبت می‌شویم، و سوسه قدیمی با یک کینه باز می‌گردد – در واقع همین واژه «دچار» پژواک وجود روح در آن‌هاست: «آه، چرا فرزند من دچار سرطان یا آوار، زمین‌لرزه یا آسیب‌های توفان شد؟» و همین و سوسه هم به هنگامی که موضوع درباره منشأ همه چیزها و یا قوانین اساسی فیزیک است، اغلب با جنبه‌های مثبتی پیش می‌آید، و درنهایت به این پرسش جدید «چرا چیزی هست تا این‌که هیچ چیز باشد؟» منجر می‌شود.

تعداد دفعاتی که پس از یک سخنرانی عمومی‌ام یکی از مخاطبان ایستاده، و چیزی شبیه این را گفته است، از دستم خارج است: «شما دانشورزان در پاسخ دادن به پرسش «چگونه» خیلی خوب هستید. ولی باید بپذیرید که وقتی به پرسش «چرا» می‌رسید ناتوان هستید. پرنس فیلیپ، دوک ادینبورو، همسر ملکه انگلستان هنگامی که در ویندسور در میان حضار بود و همکارم دکتر پیتز اتکینز سخنرانی می‌کرد، به همین نکته اشاره کرد. در پس این پرسش همیشه مفهوم ضمنی توجیه نشده‌ای وجود دارد که هیچ‌گاه بیان نمی‌شود و آن عبارت است از این‌که از آن‌جا که دانشورزی نمی‌تواند به پرسش‌های «چرا» پاسخ دهد، باید نظام دیگری وجود داشته باشد که از صلاحیت ارائه پاسخ برخوردار باشد. البته، این استنباط کاملاً غیرمنطقی است.

متأسفم که دکتر اتکینز به این چرای همایونی یک اعتراف نسبتاً کوتاه کرد. این حقیقت محض که امکان دارد پرسشی را مطرح کنیم، آن را مجاز و یا معقول نمی‌کند. چیزهای بسیاری هستند که می‌توانید پرسید: «دمای

آن چقدر است؟» یا «چه رنگی است؟» ولی نمی‌توانید پرسش دما و یا رنگ را در مورد حسادت یا عبادت پرسید. به همین ترتیب، حق دارید پرسش «چرا» را در مورد گلگیر دوچرخه یا سدکاریبا^۱ پرسید، ولی دست‌کم حق ندارید فرض کنید هنگامی که در مورد یک تخته سنگ، بدبختی، کوه اورست، یا کیهان پرسیده می‌شود «چرا»، این «چرا» سزاوار یک پاسخ است. پرسش‌ها می‌توانند فقط بی‌مورد، هرچند هم از روی صمیمیت، باشند.

موجودات زنده در جایی میان برف پاک‌کن خودرو و درِ قوطی بازکن از یک سر، و تخته سنگ و کیهان از دیگر سو، قرار دارند. بدن زنده و اجزای اندام‌های آن چیزهایی‌اند، که ظاهراً برخلاف تخته سنگ‌ها، بر سرتاسر آن‌ها هدفی نگاشته شده است. البته، آشکار است که هدفمندی موجودات زنده بر برهان قدیمی اتقان صنع^۲ تسلط دارد، که متألهین از توماس آکویناس تا ویلیام پالی و آفرینشگران «علمی» به آن استناد می‌کنند.

فرایندی واقعی که بال و چشم، نوک، غریزه لانه‌سازی و هرچیز دیگری را در مورد حیات با توهم نیرومند طرح هدفمند اعطا کرده است، اکنون به خوبی فهمیده شده است. این فرایند انتخاب طبیعی داروینی است. شگفت آن‌که فهم ما از این موضوع در این اواخر، در یک‌ونیم سده اخیر، دست داده است. تا پیش از داروین، حتی افراد تحصیل‌کرده‌ای که پرسش «چرا» را برای تخته سنگ‌ها، رودخانه‌ها، و کسوف و خسوف

۱. Karib Pam. سه قوسی دوجداره در تنگه کاریبا بر روی رودخانه زامبزی در مرز زامبیا و زیمبابوه. م.

2. Argumet from Design

به کنار نهاده بودند، هنوز هم به طور ضمنی مشروعیت پرسش «چرا» را در جایی که مربوط به موجودات زنده می شد، می پذیرفتند. اکنون فقط آن ها که سواد دانشورزانه ندارند چنین می کنند. ولی «فقط» این حقیقت تلخ را که ما هنوز داریم در مورد یک اکثریت مطلق صحبت می کنیم، پنهان می کنند.

راستش، داروینی ها یک نوع پرسش «چرا» را در مورد موجودات زنده ارائه می دهند، ولی آن ها آن را در یک مفهوم استعاره ای ویژه ارائه می دهند. چرا پرندگان آواز می خوانند و بال ها برای چیست؟ چنین پرسش هایی از سوی داروینی های امروزی به عنوان مختصرگویی پذیرفته می شود و برحسب انتخاب طبیعی نیاکان پرنده، پاسخ های مناسبی به آن داده می شود. توهم هدفمندی چنان قدرتمند است که خود زیست شناسان فرض یک طرح خوب را به عنوان یک ابزار کار به کار می گیرند. همان طور که در فصل پیش دیدیم، کارل فون فریش مدت ها پیش از پژوهش دوران سازش بر روی رقص زنبورها، در مقابل عقاید جزمی مخالف خود، کشف کرد که بعضی حشرات دید رنگی واقعی دارند. آزمایش های قاطع او با این مشاهده ساده آغاز شد که گل هایی که گرده افشانی آن ها را زنبورها انجام می دهند، زحمت زیادی می کشند تا رنگدانه های رنگین تولید کنند. اگر زنبورها دید رنگی ندارند، چرا چنین کاری می کنند؟ استعاره هدفمندی^۱ - به بیان دقیق، این فرض که انتخاب داروینی در کار است - در این جا به کار گرفته می شود تا درباره جهان هستی به استنتاجی قوی دست یافته شود. اشتباه بود اگر فون فریش می گفت: «گل ها رنگین اند، بنابراین زنبورها باید دید رنگی داشته باشند».

1. metaphor of purpose

ولی درست بود که می‌گفت، همچنان‌که گفته است: «گل‌ها رنگین هستند، بنابراین ارزشش را دارد که وقت بگذارم و به شدت در مورد آزمایش‌های جدیدی کار کنم و فرضیه دید رنگی آن‌ها را بیازمایم.» آنچه را که او هنگام بررسی دقیق درباره این موضوع پی برد، این بود که زنبورها دید رنگی خوبی دارند، ولی طیفی را آن‌ها می‌بینند که نسبت به طیف دید ما تغییر مکان یافته است. آن‌ها نمی‌توانند رنگ قرمز را ببینند (ممکن است آنچه را سرخ‌رنگ می‌نامیم «فرازرد» بنامند). ولی می‌توانند فرابنفش را، که گاهی «ارغوانی زنبورها» نامیده می‌شود، مانند یک رنگ مشخص ببینند.

هنگامی فون فریش پی برد زنبورها می‌توانند بخش فرابنفش طیف را ببینند، بار دیگر با استفاده از استعاره هدفمندی استدلال‌هایی ارائه کرد. او از خود پرسید، زنبورها حس فرابنفش خود را برای چه به کار می‌گیرند؟ افکار او قویاً متوجه گل‌ها شد. اگرچه نمی‌توانیم پرتو فرابنفش را بینیم، اما می‌توانیم فیلم‌های عکاسی حساس نسبت به آن بسازیم، و می‌توانیم صافی‌هایی بسازیم که نسبت به پرتو فرابنفش شفاف‌اند، ولی مانع عبور نور «مرئی» می‌شوند. فون فریش با این دریافت، عکس‌هایی با پرتو فرابنفش از گل‌ها گرفت. او با خوشحالی الگوهای از نوارها و نقطه‌هایی را دید که چشم هیچ انسانی تا به حال ندیده بود. گل‌هایی که در چشم ما سفید یا زرد به نظر می‌رسند، در واقع با الگوهای فرابنفش تزیین شده‌اند که همچون علامت‌های راه غالباً زنبورها را به شهدگاه‌ها راهنمایی می‌کنند. فرض وجود هدفمندی ظاهری، بار دیگر به نتیجه رسید: گل‌ها اگر خوب طراحی شده باشند، از این حقیقت که زنبورها می‌توانند طول موج فرابنفش را ببینند، استفاده می‌کنند.

هنگامی که فون فریش پیرمردی شده بود، مهم‌ترین کارش - رقص زنبورها، که در فصل پیشین آن را توضیح دادیم - توسط یک زیست‌شناس آمریکایی به نام آدریان ونر مورد تردید قرار گرفت؛ فون فریش به اندازه کافی زنده نماند تا کارش توسط آمریکایی دیگری به نام جیمز. ال. گولد، که اکنون در دانشگاه پرینستون است، از طریق یکی از هوشمندانه‌ترین آزمایش‌های طراحی شده در سرتاسر زیست‌شناسی تأیید شود. من به‌طور خلاصه داستان را باز می‌گویم، زیرا به نکته مورد نظرم درباره نیروی این فرض که «گویی طراحی شده است» باز می‌گردد. ونر و همکارانش انکار نمی‌کردند که رقص انجام می‌شود. آن‌ها حتی انکار نمی‌کردند که رقص حاوی همه اطلاعاتی است که فون فریش بیان می‌کرد. آنچه که انکار می‌کردند، از این قرار بود که زنبورهای دیگر متوجه این فاصله می‌شوند. آری، ونر می‌گفت، این واقعیت دارد که جهت حرکت مستقیم رقص چرخشی نسبت به صفحه قائم با جهت غذا نسبت به خورشید مربوط می‌شود. ولی، سایر زنبورها این اطلاعات را از رقص دریافت نمی‌کنند. بله، این واقعیت دارد که اطلاعات گوناگونی در رقص را می‌توان به عنوان اطلاعاتی درباره فاصله از غذا محسوب کرد. ولی مدرک کافی وجود ندارد که نشان دهد زنبورهای دیگر این اطلاعات را می‌فهمند. شاید آن‌ها به این اطلاعات توجهی نمی‌کنند. شاکاکان می‌گفتند مدارک فون فریش ناقص است، و هنگامی که آزمایش‌هایش را با «کنترل»های مناسب تکرار کردند (یعنی شیوه‌های دیگری را حذف کردند که زنبورها ممکن بود از آن طریق غذا بیابند)، این آزمایش‌ها دیگر فرضیه رقص-زبان فون فریش را تأیید نمی‌کرد.

این‌جا بود که جیم گولد به کمک آزمایش‌های زیرکانه و

هوشمندانه‌اش وارد صحنه شد. گولد از یک حقیقت بسیار شناخته شده در مورد زنبورهای عسل بهره گرفت، که از فصل پیش به‌خاطر داریم. هرچند زنبورها معمولاً در تاریکی می‌رقصند، با استفاده از جهت مستقیم در صفحه قائم به‌عنوان یک نشانه رمزی از جهت خورشید در سطح افقی، اما اگر چراغی را درون کندو روشن کنید، صرفاً به شیوه انجام کارها که احتمالاً آباء و اجدادی‌تر است، روی می‌آورند. سپس گرانش را فراموش می‌کنند و لامپ روشنایی را در حکم خورشید می‌گیرند، که به آن‌ها اجازه می‌دهد زاویه رقص را مستقیماً پیدا کنند. خوشبختانه هنگامی که رقصنده پیروی خود را از گرانش به لامپ روشنایی تغییر می‌دهد، هیچ سوء تفاهمی پیش نمی‌آید. زنبورهای دیگری که رقص را «می‌فهمند» نیز به همین ترتیب روند پیروی خود را تغییر می‌دهند؛ به این ترتیب، رقص هنوز هم همان معنی را دارد: سایر زنبورها هنوز هم به راه می‌افتند و به جست‌وجوی غذا در جهت مورد نظر رقصنده می‌روند.

اکنون می‌رسیم به شاهکار گولد. او چشمان زنبور رقصنده را با صمغ سیاه پوشانید، به‌طوری‌که زنبور نتواند روشنایی لامپ را ببیند. بنابراین، زنبور با بهره‌گیری از جاذبه معمولی می‌رقصید. اما چشم سایر زنبورهایی که رقص او را دنبال می‌کردند، بسته نبود و می‌توانستند لامپ روشنایی را ببینند. آن‌ها رقص را این‌طور تفسیر کردند که استفاده از گرانش ترک و لامپ روشنایی به‌عنوان «خورشید» جایگزین آن شده است. دنبال‌کنندگان رقص، زاویه رقص را نسبت به نور اندازه می‌گرفتند، درحالی‌که زنبور رقصنده خودش را نسبت به گرانش تنظیم می‌کرد. در واقع، گولد زنبور رقصنده را مجبور می‌کرد در مورد جهت غذا دروغ بگوید. نه فقط دروغ به مفهوم عام آن، بلکه دروغ گفتن در جهت معینی که

گولد دقیقاً به کار گرفت. البته، او آزمایش خود را فقط با یک زنبور چشم‌بسته انجام نداد، بلکه با نمونه کامل آماری از زنبورها و زاویه‌هایی پیوسته متغیر، را انجام داد و این کار مؤثر بود. فرضیه اصیل فون فریش درباره رقص-زبان به طور پیرزمندانه‌ای تأیید شد.

این داستان را برای سرگرمی تعریف نکردم. می‌خواستم نکته‌ای را درباره جنبه‌های منفی و مثبت فرض یک طراحی خوب بیان کنم. هنگامی که برای اولین بار مقاله‌های شکاکانه ونر و همکارانش را خواندم، به طور آشکاری سرخورده شدم. و این چیز خوبی نبود، حتی اگرچه سرانجام معلوم شد که ونر اشتباه می‌کند. سرخوردگی من کاملاً برپایه فرض «طراحی خوب» استوار بود. در هر حال ونر نه انکار می‌کرد که رقص انجام می‌گیرد، و نه این که رقص دربردارنده اطلاعاتی است که فون فریش در مورد فاصله و جهت غذا ادعا می‌کرد. ونر فقط انکار می‌کرد که زنبورهای دیگر این اطلاعات را می‌فهمند. و این موضوع برای من و بسیاری از زیست‌شناسان داروینی دیگر سنگین‌تر از آن بود که بتوانیم هضم کنیم. این رقص بسیار پیچیده بود، بسیار خوب طرح‌ریزی شده، و بسیار در هدف ظاهری‌اش برای اطلاع دادن از فاصله و جهت غذا به سایر زنبورها ظریفانه هماهنگ شده بود. به نظر ما، این هماهنگی سرشار از ظرافت نمی‌توانست جز از طریق انتخاب طبیعی تحقق یافته باشد. در هر حال، ما هم در همان دامی گرفتار شدیم که آفرینشگران به هنگام اندیشیدن در زمینه شگفتی‌های حیات گرفتارش می‌شوند. رقص فقط باید کار مفیدی انجام می‌داد، و احتمالاً به این معنی بود که به زنبورهای غذاآور برای یافتن غذا کمک می‌کند. علاوه بر آن، آن جنبه‌هایی از رقص که تا این حد ظریف و دقیق هماهنگ شده بودند، یعنی رابطه میان زاویه و سرعت با

جهت و فاصله غذا نیز باید کاری مفید انجام می دادند. بنابراین، به نظر ما ورنر باید اشتباه کرده باشد. چندان به این نظر اطمینان داشتم که حتی، اگر من به قدر کافی مبتکر بودم تا به فکر آزمایش بستن چشم گولد افتاده باشم (که مطمئن نبودم)، زحمت انجام آن را به خود نمی دادم.

گولد نه تنها به قدر کافی مبتکر بود تا در مورد این آزمایش فکر کند، بلکه حتی زحمت انجام آن را به خود داد، زیرا با فرض طراح خوب اغوا نشد. در این جا ما بر طناب باریکی راه می رویم، با این حال، به علت این که حدس می زنم گولد - مانند فون فریش پیش از او در پژوهش هایش بر روی رنگ - به قدر کافی فرض طراحی خوب در سرش داشت تا باور کند که آزمایش های جالب توجه اش شانس موفقیت زیادی دارد و بنابراین به صرف کوشش و وقت اش می ارزد.

اکنون می خواهم دو اصطلاح فنی، **مهندسی معکوس**^۱ و **عملکرد سودمند**^۲ را در این جا بیاورم. در این بخش، من تحت تأثیر کتاب دانیل دنت با عنوان **ایده خطرناک داروین** قرار دارم. مهندسی معکوس یکی از شیوه های استدلالی است که به این ترتیب عمل می کند. شما مهندس هستید و با یک شیئی دست ساز که یافته اید، مواجه اید و آن را نمی فهمید. فرض می کنید که برای هدف طراحی شده است. اجزای آن شیئی را از هم می گشایید و تجزیه و تحلیل می کنید؛ با این دید معلوم کنید که برای حل کردن چه مسئله ای خوب است: «اگر می خواستم ماشینی چنین و چنان بسازم، آیا آن را مانند این می ساختم. یا این که این شیئی بهتر است همچون ماشینی که برای انجام کاری چنین و چنان طراحی شده است، توصیف شود؟»

1. reverse engineering

2. utility function

خط کش محاسبه که تا همین اواخر ابزار اعجازآور حرفه شریف مهندسان بود، در عصر الکترونیک به همان اندازه ابزارهای عهد مفرغ متروک شده است. باستان شناس آینده، که خط کش محاسبه را پیدا می کند و در مورد آن به حیرت می افتد، شاید فکر کند که برای کشیدن یک خط صاف و یا مالیدن کره بر روی نان مفید است. ولی فرض این که هریک از این ها هدف اصلی آن بوده است از فرض اقتصاد سریچی می کند. یک خط کش صاف یا یک چاقوی کره خوری به اعداد تدریجی در وسط خط کش نیازی ندارد. علاوه بر آن، اگر فاصله شبکه های آن را بررسی کنید، مقیاس های لگاریتمی دقیقی در آن می یابید که بیش از حد به دقت تنظیم شده و امری اتفاقی نیست. به نظر آن باستان شناس، در عصر پیش از ماشین های محاسبه الکترونیکی، این الگو شامل تردستی هوشمندانه ای برای ضرب و تقسیم است. معمای خط کش با مهندسی معکوس، به کارگیری فرض طراحی هوشمندانه و اقتصادی حل خواهد شد.

«عملکرد سودمند» اصطلاحی فنی برای اقتصاددان هاست، نه برای مهندسان. معنی آن عبارت است از «آنچه که به حداکثری رسیده». برنامه ریزان اقتصادی و مهندسان اجتماعی تقریباً مانند معماران اند، از این جهت که سعی می کنند چیزی را به حداکثر برسانند. فایده گرایان (طرفداران اصالت مطلوبیت)^۱ سعی دارند «بیشترین سعادت را برای بیشترین افراد» کسب کنند (در هر حال، عبارتی است هوشمندانه تر از آنچه به نظر می آید). تحت این عنوان، فایده گرایان کم و بیش به پایداری درازمدت اولویت کمتری می دهند تا نسبت به سعادت کوتاه مدت و

1. utilitarians

فایده‌گرایان در مورد اندازه‌گیری «سعادت» با ثروت مالی، رضایت شغلی، دستاوردهای فرهنگی، یا روابط شخصی با هم اختلاف دارند. دیگران آشکارا سعادت خود را با استفاده از رفاه عمومی به حداکثر می‌رسانند و ممکن است خودپرستی خود را با این فلسفه اقیانوس کند که اگر شخصی از خودش مراقبت کند سعادت عمومی او به حداکثر می‌رسد. با مشاهده رفتار افراد در سراسر زندگی‌شان، باید بتوانید عملکرد سودمندشان را مهندسی معکوس کنید. اگر رفتار دولت یک کشور را مهندسی معکوس کنید، شاید نتیجه بگیرید آنچه به حداکثر رسیده اشتغال و رفاه همگانی است. برای کشوری دیگر، عملکرد سودمند ممکن است قدرت دائمی رئیس‌جمهور، یا ثروت خانواده‌ای معین، ابعاد حرم یک سلطان، ثبات خاورمیانه، یا تثبیت قیمت نفت باشد. نکته این است که می‌توان بیش از یک عملکرد سودمند به تصور درآورد. همیشه واضح نیست که افراد، یا شرکت‌ها، یا دولت‌ها سعی دارند چه چیزی را به حداکثر برسانند، زیرا علتش آن است که انسان اندیشه‌ورز گونه‌ای عمیقاً هدفمند است. این اصل، حتی اگر معلوم شود عملکرد سودمند مجموعه‌ای سنگین یا عملکرد سودمند دیگری با ورودی‌های متعدد است، باز هم صادق است.

حال به موجودات زنده بازگردیم و بکشیم عملکرد سودمندشان را استخراج کنیم. شاید تعداد آن‌ها زیاد باشد، ولی آشکارا معلوم خواهد شد که همه آنان به یکی کاهش می‌یابد. یکی از روش‌های مطلوب برای نمایش کارمان از این قرار است که تصور کنیم موجودات زنده را یک مهندس الهی ساخته، و سپس سعی کنیم با مهندسی معکوس بفهمیم که این مهندس سعی می‌کند چه چیزی را به حداکثر برساند: تابع کاربردی

خداوندگار چه بود؟

یوزپلنگ‌ها همه نوع نشانه‌ای دارند که به‌نحوی عالی برای کاری طراحی شده‌اند، و انجام مهندسی معکوس روی آن‌ها و یافتن عملکرد سودمندشان باید خیلی آسان باشد. به‌نظر می‌رسد آن‌ها برای کشتن بز کوهی به‌خوبی طراحی شده‌اند. دندان‌ها، چنگال‌ها، چشم‌ها، بینی، عضلات ساق پا، ستون مهره‌ها و مغز یوزپلنگ، جملگی به‌طور دقیق همان است که باید انتظار داشته باشیم، اگر هدف خداوندگار از طراحی یوزپلنگ‌ها این بوده باشد که مرگ را در میان بزهای کوهی به حداکلی برساند، برعکس، اگر یک بز کوهی را مهندسی معکوس کنیم، به همان اندازه شواهد طراحی را دقیقاً در نقطه مقابل آن می‌یابیم: زنده مانن بز کوهی و گرسنگی یوزپلنگ‌ها. گویی که یوزپلنگ را یک خداوند و بز کوهی را خداوند رقیب طراحی کرده است. درعوض، اگر فقط یک خالق وجود داشته باشد که پلنگ و گوسفند، یوزپلنگ و بز کوهی را آفریده، با چه چیزی بازی می‌کند؟ آیا دگرآزاری است که از ورزش‌های خونین تماشایی لذت می‌برد؟ آیا سعی دارد از افزایش بیش‌ازحد جمعیت پستانداران آفریقا جلوگیری کند؟ آیا دارد برای بیشینه‌سازی محبوبیت برنامه‌های تلویزیونی دیوید آتنبور^۱ تمهیداتی می‌اندیشد؟ همه این‌ها عملکرد سودمند قابل فهمی‌اند که شاید معلوم شود درست‌اند. در واقع، البته همه آن‌ها کاملاً اشتباه‌اند. اکنون ما تنها عملکرد سودمند حیات را می‌فهمیم، و شبیه هیچ‌یک از آن‌ها نیست.

در فصل اول، خواننده را برای این دیدگاه آماده کردیم که عملکرد

۱. David Attenborough. سِر دیوید فردریک آتنبرو مستندساز و پردازنده مشهور بریتانیایی. او برنامه‌های مستند بسیاری را در زمینه طبیعت و حیات جانوران ساخته است. م.

سودمند واقعی حیات، که اکنون در طبیعت دارد به حداعلی می‌رسد، بقای دی.ان.ای است. اما دی.ان.ای به حالت آزاد وجود ندارد، بلکه در درون موجودات زنده یافت می‌شود و باید از اهرم‌های قدرتی که در دست دارد بهترین استفاده را بکند. ردیف‌های دی.ان.ای که خود را در بدن یوزپلنگ‌ها می‌یابند سبب می‌شوند آن موجودات غزال‌ها را بکشند تا دامنه بقای خود را به حداکثر برسانند. ردیف‌هایی که خود را در بدن غزال‌ها می‌یابند، بقای خود را با ترویج جهت مخالف آن به حداکثر می‌رسانند. اما این بقای دی.ان.ای است که در هر دو مورد به حداکثر می‌رسد. در این فصل، کار مهندسی معکوس را بر روی شماری از مثال‌های عملی انجام می‌دهم و نشان خواهم داد که پس از این که فرض کردید بقای دی.ان.ای است که به حداعلی می‌رسد، همه چیز فهمیده می‌شود. نسبت جنسیتی – نسبت نر به ماده – در جمعیت‌های وحشی معمولاً پنجاه به پنجاه است. به نظر می‌رسد این موضوع در بسیاری گونه‌هایی که اقلیت نرها انحصار غیرمنصفانه‌ای از ماده‌ها را در اختیار دارند، یعنی نظام حرم‌وار، از نظر اقتصادی بی‌معنی باشد. در یک بررسی بسیار مطلوب روی فک‌های فیلی چهار درصد نرها عامل ۸۸ درصد همه جفتگیری‌ها بودند. اهمیتی ندارد که در این مورد به نظر می‌رسد عملکرد سودمند خداوندگار این قدر نسبت به اکثریت مجردها غیرمنصفانه باشد. بدتر از آن این است که یک خدای صرفه‌جو و کارآمد باید متوجه شده باشد که ۹۶ درصد محروم، نیمی از منابع غذایی جمعیت را مصرف می‌کنند (در واقع بیشتر از نصف، زیرا جثه فک فیلی نر بالغ بسیار بزرگ‌تر از اندام ماده است). فک‌های فیلی مجرد اضافی هیچ کاری نمی‌کنند جز آن‌که منتظر فرصت بنشینند تا یکی از آن چهار درصد اربابان خوشبخت

حرم را از میدان بدر کنند. چگونه وجود این گله‌های مجرد نامعقول را می‌توان توجیه کرد؟ هرگونه عملکرد سودمند که حتی کمترین توجهی به کارآیی اقتصادی این جامعه بکند، این مجردها را رها خواهد کرد. در عوض، فقط به تعداد کافی نر وجود خواهد داشت تا ماده‌ها را بارور کند. این ناهنجاری آشکار هم وقتی که عملکرد سودمند داروینی واقعی، یعنی به حداکثر رساندن بقای دی.ان.ای، را بفهمید، با سادگی زیبایی توضیح داده می‌شود.

من در مورد مثال نسبت جنسیتی کمی توضیح خواهم داد، زیرا تابع کاربردی آن به‌طور ظریفی به یک موضوع اقتصادی مربوط می‌شود. چارلز داروین اعتراف می‌کند که خودش در این مورد سردرگم است: «تا پیش از این فکر می‌کردم که وقتی گرایش به تولید هر دو جنس به تعداد مساوی برای گونه‌ها مزیت به‌شمار می‌آید، از انتخاب طبیعی ناشی می‌شود، ولی اکنون می‌بینم که کل این موضوع چندان پیچیده است که بهتر است راه حل آن را به آینده واگذار کنیم.» مانند همیشه، این سرِ رونالد فیشر بود که در آینده داروین خود را نشان داد. فیشر استدلال می‌کرد:

همه افرادی که به دنیا می‌آیند، دقیقاً یک مادر و یک پدر دارند. بنابراین موفقیت باروری همه نرهای زنده، که برحسب زادگان دور سنجیده می‌شود، باید مساوی همه ماده‌های زنده باشد. منظورم هر نر و ماده نیست، زیرا بعضی افراد به‌نحوی آشکار و معنی‌دار بیش از دیگران در این امر موفقیت دارند. منظورم کل نرها در مقایسه با کل ماده‌هاست. این زادگان باید میان افراد نر و ماده تقسیم شود — نه به‌طور مساوی، بلکه فقط تقسیم شود. این سهم باروری که باید میان همه نرها تقسیم شود، برابر است با سهمی که باید میان همه ماده‌ها تقسیم شود. بنابراین، اگر در

جمعیتی تعداد نرها بیشتر از ماده‌ها باشد، سهم متوسط به‌ازای هر نر باید کوچک‌تر از سهم متوسط به‌ازای هر ماده باشد. در نتیجه، موفقیت باروری متوسط (یعنی شمار زادگان مورد انتظار) یک نر در مقایسه با موفقیت باروری متوسط یک ماده، فقط از طریق نسبت نر-ماده تعیین می‌شود. شمار متوسط جنس در اقلیت موفقیت باروری بیشتری از شمار متوسط جنس در اکثریت دارد. فقط هنگامی که نسبت جنسیتی برابر است و اقلیتی وجود ندارد، هر دو جنس موفقیت باروری برابری دارند. این نتیجه‌گیری بسیار ساده حاصل یک منطق کتابی است و به هیچ‌وجه برپایه هیچ‌گونه حقایق تجربی استوار نیست، جز این حقیقت بنیادین که همه کودکان یک پدر و یک مادر دارند.

جنسیت معمولاً به هنگام آبستنی تعیین می‌شود، بنابراین می‌توانیم تصور کنیم که یک فرد هیچ قدرتی در تعیین جنسیت خودش ندارد (برای یک بار هم که شده پרגویی زاید نیست، بلکه ضروری است). باید همراه با فیشر فرض کنیم که پدر یا مادر ممکن است در تعیین جنسیت زادگان‌شان توانایی داشته باشند. البته منظور ما از «توانایی» این نیست که آن‌ها توانایی آگاهانه و آزادانه دارند. ولی یک مادر ممکن است زمینه‌ای ژنتیکی برای ایجاد یک شیمی مهلبی داشته باشد که کمی ضداسپرم‌های پسرزا باشد تا اسپرم‌های دخترزا. یا یک پدر ممکن است گرایشی ژنتیکی به تولید بیشتر اسپرم‌های دخترزا داشته باشد تا پسرزا. در هر حال، در عمل هر طور انجام شود، خود را به عنوان پدر یا مادری تصور کنید که تلاش می‌کند تصمیم بگیرد آیا پسر می‌خواهد یا دختر. باز هم می‌گوییم که ما در مورد تصمیم‌های آگاهانه صحبت نمی‌کنیم، بلکه در مورد انتخاب نسل‌هایی از زن‌ها سخن می‌گوییم که در موجوداتی عمل می‌کنند که بر

روی جنس نوزادانشان تأثیر می‌گذارند.

اگر تلاش می‌کردید تعداد نوه‌هایتان را به حداکثر برسانید، آیا باید پسر یا دختر داشته باشید؟ پیش از این دیدیم که باید فرزندی از آن جنسی داشته باشید که در جمعیت در اقلیت باشد. به این ترتیب، فرزند شما می‌تواند انتظار سهم نسبتاً بزرگی از فعالیت باروری را داشته باشد و می‌توانید منتظر تعدا نسبتاً پرشماری نوه باشید. اگر شمار هیچ‌یک از هر دو جنس از دیگری کمتر نبود - به بیان دیگر، اگر این نسبت پنجاه‌به‌پنجاه بود - نمی‌توانید از ترجیح یک جنس بر جنس دیگر طرفی ببندید. مهم نیست که پسر یا دختر داشته باشید. به این ترتیب، نسبت پنجاه‌به‌پنجاه را از نظر تکاملی پایدار می‌گویند؛ اصطلاحی که تکامل‌گرای بزرگ انگلیسی جان مینارد اسمیت به کار برده است. اگر نسبت جنسی موجود چیزی جز پنجاه‌به‌پنجاه باشد، سوگیری و گرایش در انتخاب شما سودمند است. اما در مورد این پرسش که چرا افراد باید سعی کنند تعداد نوه‌ها و زادگان بعدی خود را به حداکثر برسانند، اصلاً نیازی به پرسش ندارد. ژن‌هایی که باعث می‌شوند افراد زادگان خود را به حداکثر برسانند، ژن‌هایی‌اند که انتظار داریم در این جهان ببینیم. جانورانی را که می‌بینیم ژن‌های موفق نیاکانشان را به ارث برده‌اند.

بسی و سوسه‌کننده است که نظریه فیشر را با گفتن این‌که پنجاه‌به‌پنجاه نسبت جنسی «بهینه» است، بیان کنیم. ولی این موضوع کاملاً نادرست است. انتخاب بهینه جنسیت برای فرزند داشتن، اگر مذکرها در اقلیت باشند، مذکر است، و اگر مؤنث‌ها در اقلیت باشند، مؤنث است. اگر هیچ‌یک از دو جنس در اقلیت نباشد، هیچ بهینه‌ای وجود ندارد: پدر و مادر آگاه در مورد این‌که پسر یا دختر زاده می‌شود به کلی بی تفاوت‌اند.

گفته می شود پنجاه-پنجاه نسبت جنسی پایدار تکاملی است، زیرا انتخاب طبیعی از هیچ گونه گرایشی برای انحراف از آن حمایت نمی کند، و اگر انحرافی از آن پیش بیاید، انتخاب طبیعی از گرایشی حمایت می کند که این تعادل را اصلاح می کند.

علاوه بر آن، فیشر پی برد که فقط تعداد نر و ماده نیست که از طریق انتخاب طبیعی به نسبت پنجاه به پنجاه نگه داشته می شود؛ بلکه چیزی یا عاملی است که او «هزینه پدر و مادری» برای پسران و دختران می نامد. هزینه پدر و مادری، یعنی همه غذاهایی که به سختی به دست آمده است و در دهان یک کودک گذاشته شده است، همه زمان و انرژی صرف شده برای مراقبت از او، که می توانست برای انجام کار دیگری صرف شود، مانند مراقبت از کودک دیگری. مثلاً، فرض کنید والدین یک گونه معین از خوک دریایی معمولاً برای پرورش نوزاد نر دو برابر زمان و انرژی صرف می کنند تا نوزاد ماده. خوک های دریایی نر در مقایسه با ماده به قدری بزرگ اند که باور آوردن به درستی این ادعا آسان است (هرچند ممکن است نادرست باشد). به نظر شما معنی آن چیست؟ انتخاب واقعی درست ترین والدین این نیست که «آیا یک نوزاد نر داشته باشیم یا ماده؟»، بلکه «آیا یک نوزاد نر داشته باشم یا دو نوزاد ماده؟» علتش این است که با غذا و چیزهای دیگری که برای پرورش یک نوزاد نر لازم است، می توان دو نوزاد ماده پرورش داد. پس نسبت جنسی پایدار تکاملی، که برحسب تعداد بدن ها اندازه گیری می شود، دو ماده به ازای هر نر خواهد بود. اما وقتی برحسب مقدار هزینه پدر و مادری اندازه گیری می شود (در مقابل تعداد افراد)، نسبت جنسی پایدار تکاملی هنوز هم همان پنجاه به پنجاه است. نظریه فیشر برپایه تعادل هزینه ها برای هر دو جنس استوار است.

این پدیده غالباً آن چنان که معلوم می شود همان تعادل تعداد هر دو جنس است.

همان طور که گفتم، ظاهراً حتی در نزد خوک های دریایی هم مقدار هزینه پدر و مادری برای نوزادان نر با مقدار مصرف شده برای نوزادان ماده اختلاف چشمگیری ندارد. به نظر می رسد که نابرابری عظیم در وزن در پایان هزینه پدر و مادری انجام می شود. بنابراین، پرسشی که در برابر والدین قرار دارد هنوز هم از این قرار است که «آیا فرزند نر داشته باشم یا فرزند ماده؟». اگرچه کل هزینه رشد نوزاد نر تا بلوغ ممکن است بسیار بیشتر از هزینه رشد یک نوزاد ماه باشد، اگر هزینه اضافی برعهده تصمیم گیرنده (والدین) نباشد، این است همه آنچه که در نظریه فیشر مهم است.

قاعده فیشر در مورد تعادل هزینه هنوز هم در مواردی که نرخ مرگ و میر یک جنس بالاتر از جنس دیگر است، اعتبار دارد. مثلاً، فرض کنید احتمال بیشتری می رود که تعداد مرگ و میر نوزادان نر بیشتر از نوزادان ماده باشد. اگر نسبت جنسی در هنگام باروری دقیقاً پنجاه به پنجاه باشد، تعداد ماده ها از تعداد نر هایی که به بلوغ می رسند بیشتر خواهد بود. بنابراین نرها جنسیتی در اقلیت خواهند بود، و این سادگی است اگر انتظار داشته باشیم که انتخابی طبیعی از والدینی حمایت کند که تخصصشان در تولید فرزندان نر باشد. فیشر هم همین را انتظار دارد، ولی فقط تا یک حد – در این مورد دقیقاً تا یک حد معین – او انتظار ندارد والدین آن قدر نوزادان نر اضافی تولید کنند که مرگ و میر نوزادان بیشتر دقیقاً جبران و منجر به برابری در جمعیت در حال پرورش شود. نه، نسبت جنسی در زمان باروری باید تاحدودی در جهت نرها باشد، اما

فقط تا حدی که انتظار می‌رود هزینه کل نوزادان نر با کل هزینه نوزادان ماده برابر باشد.

در این جا نیز، آسان‌ترین شیوه فکر کردن به آن از این قرار است که خود را به جای پدر و مادر تصمیم‌گیرنده بگذارید و این پرسش را مطرح کنید که «آیا دختر داشته باشم که احتمالاً زنده می‌ماند، یا پسر که ممکن است در کودکی بمیرد؟». تصمیم نوه داشتن از طریق پسران، مستلزم این احتمال است که باید منابع بیشتری را برای بعضی پسران اضافی خرج کنید تا جانشین آن‌هایی شوند که قرار است بمیرند. می‌توانید این‌طور تصور کنید که هر پسر زنده‌مانده روح برادرهای مرده‌اش را بر پشتش حمل می‌کند. او به این معنی آن‌ها را بر روی پشتش حمل می‌کند که تصمیم به نوه‌پسر داشتن باعث می‌شود که هزینه تلف شده اضافی برعهده پدر و مادر گذاشته شود – هزینه‌ای که برای نوزادان مذکر هدر رفته است. قاعده اساسی فیشر هنوز هم معتبر است. کل مقدار کالا و انرژی مصرف شده برای پسران (از جمله تغذیه نوزادان پسر تا زمان مرگ آن‌ها) برابر است با کل مبلغی که برای دختران هزینه شده است.

چطور می‌شود که جای میزان مرگ و میر بالای نوزادان، میزان مرگ و میر افراد مذکر پس از پایان هزینه والدین بالا باشد؟ در واقع اغلب نیز چنین است، زیرا افراد بالغ مذکر غالباً می‌جنگند و همدیگر را مجروح می‌کنند. این شرایط نیز منجر به ازدیاد افراد مؤنث در جمعیت تولیدمثل‌کننده می‌شود. بنابراین، ظاهراً به نظر می‌رسد که انتخاب طبیعی از والدینی حمایت می‌کند که در تولید فرزندان پسر تخصص دارند و به این ترتیب از کمبود مذکرها در جمعیت تولیدمثل‌کننده بهره می‌برد. با این حال، کمی جدی‌تر فکر کنید، و پی می‌برید که این استدلال

سفسطه آمیز است. تصمیمی که یک پدر و مادر در برابر آن قرار دارند این است: «آیا یک پسر داشته باشم، اما اگر زنده بماند، تعداد فوق العاده زیادی نوه برایم خواهد آورد، یا یک دختر داشته باشم، که بسیار احتمالاً تعداد متوسطی نوه به من خواهد داد؟». تعداد نوه‌هایی که می‌توانید از طریق پسر انتظارش را داشته باشید هنوز هم به همان اندازه تعداد متوسطی است که از طریق دختر انتظار دارید. هزینه داشتن پسر باز هم هزینه تغذیه و محافظت از او تا لحظه‌ای است که لانه را ترک می‌کند. این حقیقت که به محض این که لانه را ترک می‌کند، احتمالاً کشته می‌شود، تغییری در محاسبه ایجاد نمی‌کند.

فیشر در همه این استدلال‌هایش فرض می‌کرد که «تصمیم‌گیرنده» پدر و مادرند. اگر شخص دیگری باشد، محاسبه تغییر می‌کند. مثلاً، فرض کنید کسی می‌توانست بر جنس خودش اثر بگذارد. بار دیگر می‌گویم که منظورم قصد آگاهانه نیست. فرض می‌کنم که ژن‌هایی که رشد یک فرد را به ماده یا نر تغییر می‌دهند، مشروط به دریافت راهنمایی‌هایی از محیط زیست است. طبق قرارداد معمول ما، من برای اختصار زبان انتخاب آزادانه توسط یک فرد را به کار می‌گیرم – در این مورد، انتخاب آزادانه جنس خودش را. اگر به جانوران حرم‌داری مانند فک فیلی این قدرت انتخاب انعطاف‌پذیر داده می‌شد، نتیجه آن چشمگیر می‌بود. افراد آرزو می‌کردند نرهای حرم‌دار باشند، اما اگر در به دست آوردن یک حرم موفق نمی‌شدند ترجیح می‌دادند ماده باشند تا نر مجرد. نسبت جنسی در جمعیت قویاً از سوگیری به ماده^۱ برخوردار است. متأسفانه فک‌های فیلی نمی‌توانند در جنسیتی که هنگام باروری پیدا کرده‌اند تجدیدنظر کنند، اما

1. female-biased

بعضی ماهی‌ها می‌توانند. نرهای زمرده‌ماهی سر آبی^۱ بزرگ‌اند و رنگ روشن و حرمسرایابی از ماده‌های تیره رنگ دارند. بعضی ماده‌ها بزرگ‌تر از بقیه‌اند و سلسله مراتب سلطه‌جویانه‌ای تشکیل می‌دهند. اگر یک نر بمیرد، بزرگ‌ترین ماده به سرعت جایش را می‌گیرد و به سرعت به یک نر با رنگ روشن تبدیل می‌شود. این ماهی بهترین چیزهای هر دو جنس را به دست می‌آورد. به جای این‌که حیاتشان را مانند یک نر مجرد تلف کنند و منتظر مرگ یک نر دارای حرامسرای سلطه‌جو باشند، زمان انتظار خود را همچون ماده‌های بارور می‌گذرانند. سیستم نسبت جنسی زمرده‌ماهی سر آبی، که در آن کاربردی سودمند خداوندگار مطابق است با چیزی که اقتصاددان‌های اجتماعی آن را عاقلانه می‌دانند، کمیاب است.

به این ترتیب، ما هم پدر و مادر و هم فرد را به عنوان تصمیم‌گیرنده بررسی کردیم. چه کس دیگری ممکن است تصمیم‌گیرنده باشد. در حشره‌های اجتماعی تصمیم‌های سرمایه‌گذاری را در بیشتر مواقع کارگران نازا می‌گیرند که معمولاً خواهران بزرگ‌تر (و در مورد موریانه‌ها برادران نیز) حشره‌های جوان در حال پرورش‌اند. زنبورهای عسل در میان حشره‌های اجتماعی آشنا ترند. خوانندگان زنبوردار من شاید پی برده باشند که در نظر اول به نظر نمی‌رسد نسبت جنسی در کندو با انتظارات فشر مطابقت داشته باشد. اولین چیزی که باید توجه داشت، از این قرار است که کارگران را نباید ماده محسوب کرد. آن‌ها از نظر اصولی ماده‌اند، ولی تولید مثل نمی‌کنند؛ بنابراین نسبت جنسیتی که بر حسب نظریه فشر تنظیم می‌شود، نسبت زنبورهای نر به ملکه‌های جدیدی است که در کندو تولید می‌شوند. در مورد زنبورها و مورچه‌ها برای

1. blue-headed wrasse

پیش‌بینی نسبت جنسی یک‌به‌سه به نفع ماده‌ها، دلایل فنی ویژه‌ای وجود دارد که من در کتاب *ژن خودخواه* آن را شرح داده‌ام و در این جا تکرار نخواهم کرد. همان‌طور که هر زنبورداری می‌داند، به‌هیچ‌وجه این چنین نیست، نسبت جنسی واقعی به شدت در جهت نرهاست. یک کندوی سالم ممکن است در یک فصل چندتایی زنبور ملکه تولید کند ولی صدها و حتی هزاران زنبور نر نیز تولید می‌کند.

موضوع از چه قرار است؟ اغلب در نظریه‌های تکاملی جدید پاسخ را مدیون وی. دی. هامیلتون هستیم که اکنون در دانشگاه آکسفورد درس می‌دهد. این پاسخی روشن‌کننده است و کل نظریه نسبت‌های جنسی فیشر را جمع‌بندی می‌کند. کلید این معمای نسبت‌های جنسی در پدیده قابل توجه هجوم^۱ نهفته است. یک کندو از بسیاری جهات مانند یک فرد است. کندو به بلوغ می‌رسد، تولیدمثل می‌کند، و سرانجام می‌میرد. محصول تولیدی کندو یک هجوم است. در اوج تابستان که کندو واقعاً در حال رشد است، یک کلنی انشعابی^۲ یا یک هجوم ایجاد می‌کند. ایجاد هجوم‌ها برای کندوها معادل تولیدمثل است. اگر کندو را کارخانه بدانیم، هجوم‌ها محصول انتهایی آن هستند و با خود ژن‌های گرانبهای کلنی را انتقال می‌دهند. هر هجوم شامل یک زنبور ملکه و هزاران کارگر می‌شود. همه آن‌ها کندوی اصلی را همچون یک مجموعه ترک می‌کنند و از یک شاخه یا صخره آویزان می‌شوند. این جا اردوی موقتی آن‌هاست، تا یک خانه جدید دائمی پیدا کنند. در ظرف چند روز یک حفره یا یک درخت خالی را پیدا می‌کنند.

این کار یک کندوی پررونق است که کلنی‌های انشعابی ایجاد کند.

1. swarming

2. daughter colony

اولین گام در انجام این کار تولید یک زنبور ملکه جدید است. معمولاً چندتایی زنبور ملکه تولید می‌شوند که فقط یکی از آن‌ها قرار است زنده بماند. اولین ملکه‌ای که از تخم بیرون می‌آید بقیه را نیش می‌زند تا بمیرند (احتمالاً ملکه‌های اضافی فقط با اهداف بیمه‌ای وجود دارند). ملکه‌ها از نظر ژنتیکی قابل تعویض با زنبورهای کارگرند، ولی در خانه‌های ملکه که در زیر شانه کندو قرار دارد پرورش می‌یابند و با یک رژیم ویژه غنی که مخصوص تغذیه ملکه‌هاست تغذیه می‌شوند. این رژیم غذایی شامل شاه‌انگبین^۱ می‌شود، ماده‌ای که دیم باربارا کارتلند^۲ به‌طور رمانتیکی عمر طولانی و رفتار ملکه ماندش را به آن نسبت می‌دهد. زنبورهای کارگر در خانه‌های کوچک‌تری پرورش می‌یابند، همان خانه‌ای که بعدها برای انبار کردن عسل به کار می‌رود. زنبورهای نر از نظر ژنتیکی متفاوت‌اند. آن‌ها از تخم‌های نابارور تولید می‌شوند. قابل توجه است که این بستگی به ملکه دارد که آیا یک تخم به زنبور نر تبدیل شود یا به یک ماده (کارگر / ملکه). زنبور ملکه فقط در طی یک پرواز برای جفت‌گیری در آغاز حیات بالغ خود جفت‌گیری و سپس اسپرم را برای بقیه عمرش درون بدنش ذخیره می‌کند. همچنان‌که هر تخم از لوله تخمدان او به پایین می‌رود، ممکن است بسته کوچکی از اسپرم را برای بارور کردن از ذخیره‌اش آزاد کند و یا آزاد نکند. بنابراین، ملکه نسبت جنسی را در میان تخم‌ها کنترل می‌کند. باین‌حال، پس از آن به نظر می‌رسد که همه قدرت در دست کارگران

1. Royal Jelly

۲. Dame Barbara Cartland، نویسنده پرکار انگلیسی، زاده ۹ ژوئیه ۱۹۰۱، درگذشته در ۲۱ می سال ۲۰۰۰، که رمان‌های عاشقانه پرفروش می‌نوشت. او در طول عمرش ۷۲۳ رمان منتشر کرد. م.

است، زیرا آن‌ها منبع غذای کرمینه‌ها را کنترل می‌کنند. مثلاً، اگر ملکه بیش از حد تخم نر گذاشت (از دیدگاه آن‌ها) می‌توانند کرمینه‌های نر را از گرسنگی از پای درآورند. در هر حال، زنبورهای کارگر بر روی تبدیل تخم‌های ماده به کارگر یا ملکه کنترل دارند، زیرا این موضوع فقط به شرایط پرورش، به‌ویژه رژیم غذایی، بستگی دارد.

حال بگذارید به مسئله نسبت جنسی بازگردیم و به تصمیمی که در برابر کارگران قرار دارد نگاهی بیندازیم. همان‌طور که دیده‌ایم برخلاف ملکه، آن‌ها در مورد انتخاب نر یا ماده تصمیم نمی‌گیرند، بلکه در مورد تولید برادر (زنبور نر) یا خواهر (ملکه جوان) تصمیم می‌گیرند. اکنون به معمای خود باز می‌گردیم، که از دیدگاه فیشر بی‌معنی به نظر می‌رسد. بگذارید به تصمیمی که در برابر کارگران قرار دارد نگاهی دقیق‌تر بیندازیم. گفتم که انتخابی میان برادرها و خواهر بود. ولی یک لحظه صبر کنید. تصمیم به این‌که یک برادر پرورش داده شود واقعاً همین است: کندو را به هر غذا و یا سایر منابع لازم برای پرورش یک زنبور نر متعهد می‌کند. اما تصمیم به پرورش یک ملکه جدید کندو را بسیار متعهدتر از تهیه فقط منابع لازم برای تغذیه بدن یک ملکه می‌کند. تصمیم به پرورش یک ملکه تازه، معادل است با تعهد به ایجاد یک هجوم. هزینه واقعی یک ملکه جدید فقط مقدار ناچیزی شاه‌انگبین و سایر خوراکی‌هایی است که او خواهد خورد. بیشتر هزینه آن شامل هزینه تولید هزاران زنبور کارگری است که هنگام خروج هجوم از کندو از دست می‌رود.

قطعاً، این توضیح واقعی سوگیری ظاهراً غیرعادی نرها در نسبت جنسیتی است. مشخص است که این یک نمونه افراطی از چیزی است که من در موردش پیش از این صحبت کردم. بنابر قاعده فیشر، هزینه نر و

ماده باید برابر باشد، نه شمار آماری افراد نر و ماده. هزینه یک ملکه هزینه عظیمی برای کارگرانی را دربرمی‌گیرد که در غیر این صورت، کندو از دست نمی‌داد. این مانند جمعیت فک‌های فرضی ماست، که در آن هزینه‌های پرورش یک جنس دو برابر جنس دیگر است؛ با این نتیجه که تعداد آن جنس نیمی از تعداد جنس دیگر است. در مورد زنبورها هزینه یک ملکه صدها و بلکه هزاران برابر هزینه یک زنبور نر است، زیرا او هزینه همه کارگران اضافی لازم برای هجوم را بر شانه‌اش حمل می‌کند. باین‌حال، تعداد ملکه‌ها صدها بار کمتر از تعداد زنبورهای نر است. این داستان عجیب یک پایان تلخ هم دارد: در هنگام هجوم که زنبورها کندو را ترک می‌کنند، ملکه قدیمی هم به‌طور مرموزی با آن‌ها می‌رود. باین‌حال، اقتصاد آن یکسان می‌ماند. تصمیم‌گیری برای تولید یک ملکه جدید هنوز هم شامل هزینه هجوم لازم برای همراهی با ملکه قدیمی به محل جدیدش است.

برای جمع‌بندی بحث نسبت‌های جنسیتی، به معمای حرمرسا برمی‌گردیم که با آن بحث را آغاز کرده بودیم: یعنی آن روش معطوف به اسراف که طی آن تعداد زیادی نر مجرد نیمی از منابع غذایی جمعیت (یا حتی بیش از نیمی از آن) را مصرف می‌کنند، اما هیچ‌گاه تولیدمثل نمی‌کنند و یا کار مفید دیگری انجام نمی‌دهند. مسلم است که رفاه اقتصادی جمعیت در این‌جا به حداکثری نرسیده است. موضوع از چه قرار است؟ بار دیگر، خود را به‌جای تصمیم‌گیرنده بگذارید – مثلاً، مادری که سعی دارد «تصمیم بگیرد» برای به حداکثر رساندن تعداد نوه‌هایش پسر یا دختر داشته باشد. در نگاه ساده اول، تصمیم او تصمیمی نابرابر است: «آیا یک پسر داشته باشم، که احتمالاً مجرد خواهد ماند و هیچ نوه‌ای به

من نمی دهد، یا دختر، که به احتمال زیاد در یک حرمسرا خواهد افتاد و تعداد مطلوبی نوه به من می دهد؟» پاسخ درست به این پدر یا مادر آینده این است: «اگر یک پسر داشته باشی، ممکن است یک حرمسرا داشته باشد که در این وضعیت نوه های بیشتری نسبت به آنچه امیدوار بودی از دخترت داشته باشی، برای تو بیاورد. برای سهولت کار تصور کنید که همه دخترها به میزان متوسطی تولیدمثل می کنند، درحالی که یک پسر از ده پسر، زن ها را به انحصار درمی آورد. اگر یک دختر داشته باشید، می توانید بر روی تعداد متوسط نوه ها حساب کنید. اگر یک پسر داشته باشید، ۹۰ درصد شانس نداشتن نوه را دارید، اما ۱۰ درصد شانس دارید که ده برابر تعداد متوسط نوه داشته باشید. تعداد متوسط نوه هایی که از طریق پسرانتان می توانید انتظار داشته باشید، برابر تعداد متوسط نوه هایی است که می توانید از طریق دخترانتان داشته باشید. انتخاب طبیعی هنوز هم از یک نسبت جنسیتی پنجاه به پنجاه حمایت می کند، اگرچه دلایل اقتصادی سطح ویژه ای به دنبال ماده های اضافی است. قاعده فیشر هنوز هم معتبر است.

من این دلایل را برحسب «تصمیم های» هر جانور بیان کردم، اما تکرار می کنم که این فقط یک اختصار است. در واقع، آنچه اتفاق می افتد این است که ژن های «ویژه» به حداکثر رساندن نوه ها در خزانه ژن متعددتر می شوند. جهان پر از ژن هایی می شود که در طی اعصار به طور موفقیت آمیزی جریان یافته اند. چگونه یک ژن باید در طی حرکت در اعصار موفق باشد، جز این که بر تصمیم های افراد تأثیر گذارد تا تعداد زادگان خود را به حداکثر برسانند؟ نظریه فیشر در مورد جنس به ما می گوید که این به حداکثر رساندن چگونه باید انجام شود، و با به حداکثر

رساندن رفاه عمومی گونه‌ها و یا جمعیت بسیار متفاوت است. در این جا یک عملکرد سودمند وجود دارد، ولی این عملکرد سودمند با آن عملکرد سودمندی که به ذهن‌های اقتصادی ما انسان‌ها می‌رسد، بسیار فرق می‌کند.

اسراف اقتصاد حرمسرا را می‌توان از این قرار جمع‌بندی کرد: مذکرها به‌جای این‌که خود را وقف کارهای مفید کنند، انرژی و قدرت خود را در مبارزه بر علیه همدیگر هدر می‌دهند. این موضوع واقعیت دارد، حتی اگر ما «سودمند» در مورد پرورش کودکان را ظاهراً در چارچوب داروینی تعریف کنیم. اگر نرها انرژی خود را که در رقابت با یکدیگر هدر می‌دهند در مسیرهای سودمند هدایت کنند، به‌طور کلی گونه‌ها تعداد فرزند بیشتری را با تلاش کمتر و غذای کمتر پرورش می‌دهند.

کارشناس عملکردپژوهی به دنیای فک‌های فیلی با بهت نگاه می‌کند. یک نمونه تقریبی از این قرار است: کارگاهی به کمتر از ده کارگر برای انجام کار نیاز دارد، زیرا فقط ده ماشین تراش در کارگاه نصب شده است. مدیریت کارگاه به‌جای استخدام فقط ده مرد، تصمیم می‌گیرد صد نفر را استخدام کند. همه‌روزه همه صد نفر مرد حاضر می‌شوند و دستمزد خود را می‌گیرند، سپس تمام روز را برای تصاحب ده ماشین تراش با هم در جدال‌اند. با این ماشین تراش‌ها چیزهایی ساخته می‌شود، ولی بیشتر از تعدادی نیست که ده مرد، و یا احتمالاً تعدادی کمتر، می‌سازند، زیرا صد مرد چنان مشغول جنگ و جدال‌اند که از این ماشین تراش‌ها به‌نحو کارآمدی بهره‌برداری نمی‌شود. کارشناس عملکردپژوهی در این موضوع شک نخواهد کرد. نود درصد مردان (کارگران) زیادی‌اند، و آن‌ها باید به‌طور رسمی شناسایی و از کار اخراج شوند.

فقط در جنگ تن به تن نیست که جانوران نر انرژی خود را هدر می‌دهند. در این جا نیز، «هدر» را از نقطه نظر یک اقتصاددان یا کارشناس عملکردپژوهی تعریف می‌کنیم. در بسیاری از گونه‌ها یک مسابقه زیبایی در جریان است. این موضوع ما را با عملکرد سودمند دیگری آشنا می‌کند که با این که هیچ معنی اقتصادی روشنی ندارد، اما ما انسان‌ها می‌توانیم آن را درک کنیم: زیبایی شناسی. از نظر ظاهری ممکن است این طور به نظر آید که گویی عملکرد سودمند خداوندگار گاهی در حوزه مسابقه ملکه زیبایی در جریان است (که خوشبختانه اکنون از تداول افتاده است)، با این تفاوت که نرها در برابر دیگران راه می‌روند. این موضوع در به اصطلاح محل اجتماع پرندگانی مانند سیاه خروس^۱ و آبچلیک^۲ آشکارا دیده می‌شود. «قرارگاه» قطعه زمینی است که معمولاً پرندگان نر برای راه رفتن در برابر ماده‌ها از آن استفاده می‌کنند. ماده‌ها به قرارگاه می‌روند و نمایش مغرورانه تعدادی از نرها را می‌بینند و سپس یکی از آن‌ها را انتخاب و آن‌گاه با او جفتگیری می‌کنند. نرهای گونه‌های قرارگاهی اغلب به نحو عجیب و غریبی تزئین شده‌اند، که آن را با خم شدن و سینه سپر کردن و سروصداهای عجیب و قابل توجهی به نمایش می‌گذارند. البته واژه «عجیب و غریب» داوری ارزشی ذهنی است؛ با این فرض که سیاه خروس نر با رقص مغرورانه و سروصدای گسسته‌اش برای ماده گونه خودش عجیب و غریب به نظر نمی‌رسد، و این موضوع از همه مهم‌تر است. در مواردی دیدگاه پرنده ماده از زیبایی مطابق دیدگاه ماست، و نتیجه آن طاووس و یا مرغ بهشت^۳ است.

1. grouse

2. ruff

3. bird of paradise

آواز بلبل، دم قرقاول، نور کرم شب تاب، و فلس های رنگین کمان ماهی های گل سنگ های مناطق حاره، جملگی زیباشناختی است، ولی این زیبایی برای لذت بردن انسان ها نیست – یا اگر هست اتفاقی چنین شده است. اگر از این منظره لذت می بریم پاداش و یا نتیجه ای فرعی است. ژن هایی که نرها را برای ماده جذاب می کنند که از طریق رودخانه دیجیتال به آینده منتقل می شوند. فقط یک عملکرد سودمند وجود دارد که این زیبایی ها را قابل فهم می کند؛ و آن همانی است که نسبت جنسیتی فک های فیلی، مسابقه بی فایده یوزپلنگ، و بُز کوهی را برعلیه همدیگر، فاخته ها و شپش ها، چشم و گوش ها و نای ها، مورچه های کارگر نازا و زنبورهای ملکه بسیار بارور را توضیح می دهد. عملکرد سودمند، جهانشمول، مقداری که با سخت کوشی در گوشه ای از جهان زنده در حال رسیدن به حداعلی است، در هر موردی، زندهمانی دی.ان.ای است که مسئول وجود خصیصه هایی است که سعی داریم آن ها را توضیح دهیم. طاووسها با تزیین هایی آراسته شده اند که چنان سنگین و پرزحمت اند که از تلاش طاووس برای انجام کار مفید به شدت جلوگیری می کند، حتی اگر مایل باشند که کار مفید انجام دهند – که به طور کلی انجام نمی دهند. پرندگان نغمه سرای نر مقدار چشمگیری از زمان و انرژی را برای آواز خواندن صرف می کنند. این کار قطعاً آن ها را به مخاطره می افکند، نه فقط به خاطر این که جانوران شکارگر را جلب می کند، بلکه انرژی آن ها را تخلیه می کند و مدت زمانی را که می توانند برای تجدید آن انرژی مصرف کنند، از دست می دهند. یک دانشجوی زیست شناسی چکاوک می گفت یکی از چکاوک های نر وحشی او تا سرحد مرگ آواز خواند. هر عملکرد سودمند که رفاه واقعی گونه ها را در درازمدت در نظر داشته باشد، حتی

زنده‌مانی درازمدت این چکاوک نر را، باید کمیت نغمه‌خوانی، مدت زمان نمایش، و کمیت جنگ در میان نرها را کاهش دهد. باین حال، چون آنچه در واقع به حداعلی می‌رسد زنده‌مانی دی.ان.ای است، هیچ چیز دیگری که اثر مفیدی جز زیبا کردن نرها برای ماده‌ها نداشته باشد، نمی‌تواند گسترش دی.ان.ای را متوقف کند. زیبایی به‌خودی‌خود هیچ مزیت مطلقی ندارد؛ ولی اگر ناچار بعضی ژن‌ها خصوصیتی را به نر می‌دهند که نرهای آن‌گونه اتفاقاً آن را مطلوب می‌یابند، خواهی نخواهی زنده می‌مانند.

چرا درختان جنگل این قدر بلندقامت‌اند؟ در واقع برای این‌که بر درختان رقیب در دریافت نور آفتاب برتری جویند. یک عملکرد سودمند «معقول» مراقب خواهد بود که همه آن‌ها کوتاه باشند. همه آن‌ها دقیقاً مقدار یکسانی نور آفتاب را دریافت دارند، بابت تنه‌های ضخیم و ریشه‌های عظیم به‌عنوان تکیه‌گاه هزینه کمتری داشته باشند. اما اگر همه آن‌ها کوتاه بودند، انتخاب طبیعی نمی‌توانست از حمایت انواع مختلفی دست بردارد که کمی بلندتر می‌شدند. اگر یکی بلندتر می‌شد، بقیه از آن پیروی می‌کردند. هیچ چیز نمی‌توانست از تشدید تمامی این بازی جلوگیری کند تا این‌که همه درختان به‌نحو مسرفانه و عجیبی بلند شوند. این امر از دیدگاه برنامه‌ریزان اقتصادی منطقی که برپایه بیشینه‌سازی کارایی می‌اندیشند، مسرفانه و عجیب است. ولی همه آن‌ها وقتی معنی می‌دهد که تابع کاربردی واقعی را بفهمید – ژن‌ها زنده‌مانی خودشان را بیشینه می‌کنند. قیاس‌های خانگی فراوان است. در یک مهمانی شلوغ ممکن است از بس فریاد بزنید صدایتان بگیرد. دلیلش آن است که دیگران هم دارند با صدای بلند فریاد می‌کشند. اگر فقط مهمانان به توافق

برسند که آهسته صحبت کنند، با فشار کمتری بر صدا و صرف انرژی کمتری باز هم دقیقاً صدای همدیگر را می شنوند. ولی به این گونه توافق ها عمل نمی شود مگر این که بر آن ها نظارت شود. همیشه یک نفر هست که آن را رعایت نمی کند و خودخواهانه کمی بلندتر صحبت می کند، و همه یکی یکی مجبورند از او پیروی کنند. تعادل پایدار فقط هنگامی برقرار می شود که هرکسی تا آن جا که ممکن است داد می کشد، و این صدا بسیار بلندتر از آن باشد که «منطقاً» لازم است. باز هم همکاری در کنترل صدا ناشی از ناپایداری درونی آن بی نتیجه می ماند. تابع کاربردی خداوندگار به ندرت بهترین فایده برای بیشترین تعادل است. تابع کاربردی در تلاشی ناهماهنگ برای منفعت خودخواهانه، به اصل خویش خیانت می ورزد.

انسان ها معمولاً تمایل مهرانگیزی دارند تا فرض کنند رفاه به معنی رفاه گروهی است، و این که «خیر» به معنای خیر جامعه، رفاه آینده گونه و یا حتی بوم سازگان است. عملکرد سودمند خداوندگار، آن طور که از تأمل در عملکرد انتخاب طبیعی ناشی می شود، متأسفانه با چنین دیدگاه های آرمانگرایانه ای آشکارا در تضاد است. مطمئناً مواقعی پیش می آید که ژن ها شاید با برنامه ریزی همکاری غیرخودخواهانه، و یا حتی از خودگذشتگی اندامگان در سطح خودش، خیر خودخواهانه خود را در سطح خودشان به حداکثر برسانند. ولی خیر گروهی همیشه یک نتیجه تصادفی است، نه یک محرک اولیه. این است معنی «ژن خودخواه».

بگذارید با یک قیاس شروع و به جنبه دیگری از تابع کارکردی خداوند نگاه کنیم. نیکلاس همفری، روانشناس داروینی حقیقت درخشانی را درباره هنری فورد آشکار کرد. «گفته می شود که فورد پدر کارآیی در صنایع تولیدی، یکبار دستور داد محل آهن قراضه ها را در

آمریکا بررسی کنند تا معلوم شود آیا در آنجا اجزایی از اتومبیل فورد مدل تی یافت می شود که هیچگاه خراب نشده باشد. بازرسان او با این گزارش ها برگشتند که تقریباً همه نوع از کارافتادگی وجود دارد: میل لنگ، ترمز، پیستون – همگی مشمول خرابی شده بودند. آن ها توجه او را به یک استثناء قابل توجه جلب کردند، میل سگدست^۱ اتومبیل های اوراق شده هنوز سال ها قابل استفاده بودند. فورد به اعتبار منطقی بی رحمانه نتیجه گرفت که میل سگدست های مدل تی به خاطر نوع کارشان بیش از حد خوب بودند، و بنابراین دستور داد که در آینده باید با کیفیت پایین تری تولید شوند.

ممکن است شما هم مانند من از کارکرد معنای میل سگدست بی اطلاع باشید، ولی اهمیتی ندارد. میل سگدست قطعه ای مورد نیاز اتومبیل هاست و بی رحمی متناسب به فورد در واقع کاملاً منطقی بود. راه حل دیگر این بود که تمام اجزا و قطعات خودرو را تا سطح استاندارد میل سگدست ها بهبود بخشند. ولی دیگر این فورد مدل تی نبود، بلکه رولز رویس بود، و هدف او چنین چیزی نبود. رولز رویس خودروی قابل اعتمادی است و همین طور فورد مدل تی، ولی به ازای قیمت های متفاوتی که دارند. ترفند در این است که مطمئن شوید یا کل خودرو با کیفیت رولز رویس ساخته شده است، یا این که کل خودرو، با کیفیت مدل تی. اگر یک خودروی دوگانه سوز (هیبرید) بسازند که بعضی قطعات آن کیفیت مدل تی و بعضی قطعاتش کیفیت رولز رویس را داشته باشند، بدترین نوع از هر دو خودرو را برگزیده اید، زیرا هنگامی که ضعیف ترین قطعات آن خراب شود خودرو را دور می اندازند و پول صرف شده برای قطعات با

1. kingpein

کیفیت عالی که هیچ‌گاه فرسوده نمی‌شوند، فقط اتلاف پول و انرژی و وقت است.

درس‌های فورد حتی با تأکید بیشتری در مورد موجودات زنده صدق می‌کند، زیرا قطعات یک خودرو را با محدودیت‌هایی می‌توان با قطعات یدکی تعویض کرد. حیات میمون‌ها و گیبون‌ها بر بالای درخت سپری می‌شود، و همیشه خطر سقوط و شکستن استخوان‌هایشان وجود دارد. فرض کنید دستور پژوهش بر روی جسد میمون‌ها را برای شمارش تعداد شکستگی در هر استخوان عمده بدن را صادر کرده باشیم. فرض کنید معلوم شد که هر استخوان پس از مدت زمان معینی می‌شکند، جز یک استثناء: هیچ‌گاه مشاهده نشده که نزد میمونی استخوان نازک‌نی^۱ (استخوانی که موازی استخوان درشت‌نی^۲ در ساق پاست) بشکند. توصیه بدون تردید هنری فورد از این قرار خواهد بود که استخوان نازک‌نی را با کیفیت ضعیف‌تری باز طراحی کنید، و این دقیقاً همان چیزی است که انتخاب طبیعی انجام خواهد داد. افراد جهش‌یافته با استخوان نازک‌نی کم‌کیفیت، افراد جهش‌یافته‌ای که قواعد رشد آن‌ها به انحراف کلسیم ارزشمند از استخوان نازک‌نی می‌انجامد، می‌توانند این ماده اندوخته شده را برای ضخیم‌تر کردن سایر استخوان‌های بدن مصرف کنند و به این ترتیب باعث شوند شکستگی احتمالی همه استخوان‌ها یکسان صورت گیرد. یا این‌که افراد جهش‌یافته می‌توانند از کلسیم اندوخته شده برای ساختن شیر بیشتر و پرورش نوزادان بهره‌گیرند. استخوان را می‌توان بدون هیچ خطری از نازک‌نی تراشید، دست‌کم تاحدی که این احتمال به وجود آید که مانند بادوام‌ترین استخوان بعدی

1. fibula

2. shinbone

می‌شکند. بدیل دیگر، یعنی راه‌حل «رولز رویس»، آوردن همه استخوان‌های دیگر به سطح نازک‌نی است؛ انجام این کار دشوارتر است. محاسبه اصلاً به این سادگی نیست، زیرا بعضی استخوان‌ها از بقیه مهم‌ترند. حدس می‌زنم برای یک میمون عنکبوتی خیلی آسان‌تر است با یک استخوان شکسته پاشنه پا زنده بماند، تا استخوان شکسته بازو؛ بنابراین ظاهراً نباید انتظار داشته باشیم که انتخاب طبیعی همه استخوان‌ها را با احتمال شکستن یکسان بسازد. ولی درس مهمی را که از داستان هنری فور فرامی‌گیریم، بی‌گمان درست است. امکان دارد که اندام یک جانور بیش‌ازحد خوب باشد، و باید انتظار داشته باشیم که انتخاب طبیعی از کاهش کیفیت تا حد تعادل با کیفیت اندام‌های دیگر بدن، ولی نه بیش از آن، حمایت کند. به بیان دقیق‌تر، انتخاب طبیعی هم‌تراز کردن کیفیت در هر دو جهت بالا و پایین را پشتیبانی می‌کند، تا تعادلی کامل در سراسر اجزای بدن برقرار شود.

درک این تعادل، هنگامی که بین دو جنبهٔ جداگانهٔ حیات برقرار می‌شود، به‌نحو خاصی آسان است: مثلاً، زنده‌مانی طاووس نر در مقابل زیبایی در چشم طاووس ماده. بنابر نظریه داروین، کل زنده‌مانی و سیله‌ای است به منظور انتشار ژن‌ها، ولی این موضوع ما را از بخش‌بندی بدن به اندام‌های مختلف، مانند ساق‌ها، که اصولاً مربوط به زنده‌مانی فرد است، و آن‌ها که، مانند آلت تناسلی، مربوط به تولیدمثل است، باز نمی‌دارد. یا مانند شاخ‌ها که مختص رقابت با افراد رقیب است در مقابل آن‌ها که مانند ساق‌ها و آلت تناسلی، اهمیت‌شان به وجود افراد رقیب بستگی ندارد. بسیاری حشرات به جدایی دشواری میان مراحل بسیار متفاوت در

مراحل حیاتشان روی می‌آورند. کرم‌های پيله‌ساز^۱ زندگی خود را وقف گردآوری غذا و رشد می‌کنند. پروانه‌ها مانند گل‌هایی‌اند که بر آن‌ها می‌نشینند، و حیات خود را وقف تولیدمثل می‌کنند. آن‌ها رشد نمی‌کنند، شهد را می‌مکند تا فقط آن را به عنوان سوخت پرواز بسوزانند. هنگامی که یک پروانه با موفقیت تولیدمثل می‌کند، نه فقط به عنوان این‌که یک پروانه کارآمد پروازکننده و جفتگیری‌کننده است، بلکه برای این‌که یک کرم پيله‌ساز تغذیه‌کننده است نیز ژن‌هایش را پخش می‌کند. کرمینه حشره یک‌روزه^۲ تا سه سال در زیر آب تغذیه و رشد می‌کند. سپس به شکل حشره بالغ پروازی از آب بیرون می‌آید و فقط چند ساعت زندگی می‌کند. بسیاری از آن‌ها را ماهیان می‌خورند، ولی حتی در غیر این صورت هم، باز پس از کوتاه زمانی می‌مردند، چون نمی‌توانند تغذیه کنند و حتی معده و روده ندارند (هنری فوردد باید آن‌ها را خیلی دوست می‌داشت). وظیفه و پیشه آن‌ها از این قرار است که پرواز کنند تا جفتی برای خود بیابند. آنگاه پس از این‌که ژن‌هایشان را انتقال دادند – از جمله ژن‌هایی را که کرمینه کارآمدی بودند که توانستند در زیر آب به مدت سه سال تغذیه کنند – می‌میرند. حشره یک‌روزه مانند درخت است که پس از سپری شدن سال‌ها رشد می‌کند، سپس برای یک روز پرشکوه گل می‌دهد و می‌میرد. حشره یک‌روزه بالغ گلی است که در پایان حیات و آغاز حیاتی جدید مدت کوتاهی شکوفه می‌کند.

ماهی آزاد جوان از رودخانه محل تولدش مهاجرت و بیشتر عمرش را در دریا تغذیه و رشد می‌کند. پس از این‌که به بلوغ می‌رسد، دوباره به جست‌وجوی دهانه رودخانه بومی‌اش، احتمالاً به کمک حس

1. caterpillars (گُربینه)

2. mayfly

ارزیابی‌اش، می‌پردازد. ماهی آزاد در یک سفر حماسی و بسیار مشهور در جهت مخالف جریان رودخانه شنا می‌کند، و از روی آبشارها و تنداب‌ها می‌جهد، و به‌سوی سرچشمه‌هایی راه می‌سپارد که مدت‌ها قبل در آن‌جا به‌وجود آمده بود. در آن‌جا تخم‌ریزی می‌کند و این چرخه دوباره تکرار می‌شود. در این‌جا، معمولاً میان ماهی آزاد اقیانوس اطلس و اقیانوس آرام تفاوتی برقرار است. ماهی آزاد اقیانوس اطلس پس از تخم‌ریزی ممکن است به دریا بازگردد و احتمال دارد این چرخه را برای دومین بار تکرار کند. ماهی آزاد اقیانوس آرام چند روز پس از تخم‌ریزی می‌میرد.

ماهی معمولی آزاد اقیانوس آرام مانند حشره یک‌روزه است، ولی بدون هیچ مرحله تشریحی مشخص و جداگانه‌ای میان کرمینه و مراحل بلوغ در تاریخچه حیاتش. تلاش برای شناکردن در جهت مخالف رودخانه چندان جانفرساست که نمی‌تواند آن را دوبار انجام دهد. بنابراین، انتخاب طبیعی آن‌هایی را پشتیبانی می‌کند که هر ذره از منابع خویش را در یک تلاش «مهبانگی» تولیدمثلی می‌گذرانند. هر منبعی که پس از تولیدمثل باقی بماند، اتلاف شده است – مانند میل سگدست با کیفیت هنری فورد. ماهی آزاد اقیانوس اطلس در جهت کاستن زنده‌مانی پس از تولیدمثل خود تا رسیدن به صفر تکامل یافته است، منابعی که اندوخته شده متوجه تخم‌ها یا مایع منی می‌شوند. ماهی اقیانوس اطلس در مسیر دیگری کشیده شده است. شاید به علت این‌که طول رودخانه‌هایی که باید در آن بجهد معمولاً کوتاه‌تر است و برجستگی‌های کوتاه‌تری دارند. آن‌ها که پس از دومین دوره تولیدمثل مقداری از منابع را با خود می‌آورند، گاهی می‌توانند به خوبی با آن زندگی کنند. بهایی را که

این ماهی‌های آزاد اقیانوس اطلس می‌پردازند از این قرار است که نمی‌توانند چندان متعهد به تخم‌های خود باشند. میان طول عمر و تولیدمثل بده‌وبستان‌های متقابلی برقرار است و انواع مختلف ماهی آزاد موازنه‌های متفاوتی را برگزیده‌اند. سیمای ویژه چرخه حیات ماهی آزاد این است که سفر فرساینده و پرحادثه مهاجرت آن‌ها یک گسستگی را به آن‌ها تحمیل می‌کند. هیچ پیوستگی اسانی میان یک فصل تولیدمثل و فصل بعدی برقرار نیست. تعهد به دومین فصل تولیدمثل به شدت به کارایی در فصل اول ضربه می‌زند. ماهی آزاد اقیانوس آرام در جهت یک تعهد روشن نسبت به اولین فصل تولیدمثل تکامل یافته است، با این نتیجه که یک ماهی آزاد معمولی به‌وضوح پس از اولین کوشش در تخم‌ریزی عظیم خود بی‌درنگ می‌میرد.

همین نوع بده‌وبستان‌ها نشانه هر نوع حیات، ولی معمولاً کمتر چشمگیر است. مرگ خود ما نیز شاید مانند چیزی شبیه به همان مفهوم ماهی آزاد برنامه‌ریزی شده باشد، ولی به شیوه‌ای که از صراحت کمتری برخوردار است. شکی نیست که یک طرفدار به‌نژادی می‌تواند نژادی از انسان‌های دارای طول عمر دراز را پرورش دهد. او آن‌ها را برای پرورش انتخاب می‌کند که بیشترین منابع خود را، به هزینه فرزندانشان، صرف اندام خودشان می‌کنند: مثلاً، افرادی که استخوان‌هایشان به مقدار زیادی تقویت شده و به‌سختی شکسته می‌شوند، ولی مقدار کمی کلسیم برایشان می‌ماند تا شیر تولید کنند. البته اگر به هزینه نسل بعدی مرفه باشید، خیلی آسان است که کمی طولانی‌تر عمر کنید. طرفدار به‌نژادی می‌تواند رفاه را فراهم آورد و از این بده‌وبستان‌ها در جهت مطلوب طول عمر استفاده کند. طبیعت به این ترتیب رفاه نمی‌آورد، زیرا ژن‌های عامل

صرفه جویی در نسل بعدی به آینده نفوذ نخواهند کرد.

عملکرد سودمند طبیعت هیچگاه به عمر دراز به خاطر خود آن ارزشی نمی‌دهد، بلکه فقط به خاطر تولیدمثل آینده آن این ارزش را قائل است. هر جانوری که، مانند ما و نه مانند ماهی آزاد اقیانوس آرام، بیش از یکبار تولیدمثل می‌کند با یک بده‌بستان میان فرزند (یا توله) کنونی و کودکان آینده مواجه است. در نزد خرگوشی که همه انرژی و منابع خود را صرف پرورش اولین توله‌اش می‌کند، این مقوله به احتمال زیاد عالی‌تر به بار خواهد آمد. گرایش ژن‌هایی که چیزی را برای ذخیره کردن نگاه می‌دارند به آن سوست که توسط جمعیت خرگوش‌هایی انتشار یابند که در بدن توله‌های دوم و سوم حمل می‌شوند. ژن‌هایی از این دست هستند که آشکارا در جمعیت ماهی‌های آزاد اقیانوس آرام انتشار نیافتند، زیرا گسستگی عملی میانیک فصل تولیدمثل و دومین فصل تا این حد نیرومند است. همچنان که پیر می‌شویم، شانس مردن در سال آینده، پس از این که ابتدا کاهش می‌یابد و سپس برای مدتی هم‌تراز می‌شود، آماده یک اوج‌گیری خواهد شد. در این افزایش احتمالاً مرگ‌ومیر چه چیزی دارد رخ می‌دهد؟ بنیاد آن بر پایه همان اصلی است که در مورد ماهی آزاد اقیانوس آرام صادق است، ولی در طی یک مرحله گسترش یافته پخش شده است، تا این که در یک مجلس مرگ مختصر و پرشتاب، پس از مجلس تخم‌ریزی انجام شود. این اصل که سالخوردگی چگونه تکامل یافت، در اصل به همت سرپرست مداور دانشورز پزشکی برنده جایزه نوبل در سال‌های ۱۹۵۰ روشن شد و اصلاحات متعددی در نظریه اصلی به دست سی. جی. ویلیامز داروینی مشهور و و. دی. هاملیتون به آن افزوده شد.

بحث اصلی از این قرار است: اولاً، همان‌طور که در فصل ۱ دیدیم، هر اثر ژنتیکی معمولاً در زمان خاصی از حیات اندامگان فعال می‌شود. بسیاری از ژن‌ها در جنین اولیه فعال می‌شوند، ولی بعضی دیگر – مانند ژن بیماری هانتینگتون^۱، همان بیماری که وودی گاتری^۲ شاعر و خواننده ترانه‌های مردمی را به نحو غم‌نگیزی ازپای درآورد، در میانسالی فعال می‌شود. ثانیاً، جزئیات یک تأثیر ژنتیکی، ازجمله زمان فعال شدن آن، ممکن است توسط ژن‌های دیگر تغییر کند. فردی که حامل ژن بیماری هانتینگتون است می‌تواند انتظار داشته باشد به علت ابتلا به این بیماری بمیرد، ولی این‌که آیا او را در چهل سالگی می‌کشد یا چهل و پنج سالگی (همان‌طور که در مورد وودی گاتری اتفاق افتاد) ممکن است تحت تأثیر ژن‌های دیگر قرار گیرد. نتیجه این می‌شود که با انتخاب ژن‌های «تغییردهنده» زمان عمل یک ژن معین می‌تواند در زمان تکاملی به تأخیر و یا به جلو انداخته شود.

ژنی مانند ژن بیماری هانتینگتون، که میان سن سی و پنج سالگی و پنجاه و پنج سالگی فعال می‌شود، تا پیش از هلاک کردن حامل ژن، فرصت زیادی دارد تا به نسل بعدی انتقال یابد. اما، اگر در سن بیست سالگی فعال شود، فقط توسط کسانی که در جوانی تولیدمثل می‌کنند منتقل می‌شوند، و بنابراین شانس کمی برای انتقال دارد. اگر این ژن در سن ده سالگی فعال شود، اصولاً هرگز انتقال نخواهد یافت. انتخاب طبیعی هر ژن تغییردهنده‌ای را حمایت می‌کند که در به تأخیر انداختن سن فعال شدن ژن بیماری هانتینگتون تأثیر می‌گذارد. بنابر نظریه مداور / ویلیامز، دقیقاً به همین علت است که این ژن معمولاً تا میانسالی فعال نمی‌شود. ممکن

1. Huntington's chorea

2. Woody Guthrie

است روزگاری یک ژن فعال زودرس بوده است، ولی انتخاب طبیعی اثر کشنده آن را تا ایام میانسالی به تأخیر انداخته است.

ژن بیماری هانتینگتون به‌ویژه نمونه روشن این ژن مرگبار است. ژن‌های زیادی هستند که به‌خودی‌خود مرگبار نیستند، بااین‌حال آثاری دارند که احتمال مردن در اثر علت دیگری را افزایش می‌دهند و این ژن‌ها را زیرمرگبار^۱ می‌نامند. در این‌جا نیز بگوییم که زمان فعال شدن آن‌ها ممکن است تحت تأثیر ژن‌های تغییردهنده قرار بگیرد و بنابراین به تأخیر افتد و یا انتخاب طبیعی آن را تشدید کند. مداور تشخیص داد که ناتوانی‌های سن پیری ممکن است نشانه جمع شدن آثار مرگبار و زیر مرگباری شود که در دوره حیات به عقب انداخته شده‌اند و اجازه یافته‌اند از تور تولیدمثل رد شوند و به نسل‌های آینده انتقال یابند، فقط به علت این‌که دیرپا هستند.

چرخشی را که جی. سی. ویلیامز، داروینی مدرن برجسته آمریکایی، در سال ۱۹۵۷ در این قضیه ایجاد کرد، بسیار مهم است. این چرخش به‌نظر ما به بده‌بستان‌های اقتصادی بازمی‌گردد. برای فهم آن نیاز است که در مورد چند حقیقت زمینه‌ای دیگر صحبت کنیم. یک ژن معمولاً بیش از یک اثر دارد، و اغلب بر روی بخش‌هایی از بند که به‌طور سطحی کاملاً مشخص‌اند، تأثیر می‌گذارد. نه‌تنها این چنداثری^۲ یک واقعیت است، ولی با در نظر گرفتن این‌که ژن‌ها آثار خود را بر رشد جنینی می‌گذارند و رشد جنینی فرآیندی پیچیده است، باید انتظار آن را هم داشته باشیم. به‌این‌ترتیب، احتمال می‌رود که هر جهش ژنتیکی جدید نه فقط یک اثر، بلکه چندین اثر داشته باشد. هرچند ممکن است یکی از آثار آن سودمند

1. sublethal

2. pleiotropy

باشد، ولی احتمال نمی‌رود که بیش از یکی از آن‌ها باشد. دلیل ساده‌اش این است که بیشتر آثار جهشی بد هستند. علاوه بر این که این یک حقیقت است، در اصل هم انتظار آن می‌رود: اگر با سازوکار عمل پیچیده‌ای – مثلاً، رادیو – سروکار دارید، راه‌های مختلفی یافت می‌شود که آن را بدتر تا بهتر کنید.

هرگاه انتخاب طبیعی از ژنی به علت تأثیری در جوانی حمایت می‌کند – مثلاً، جذابیت جنسی در یک نر جوان – احتمالاً یک جنبه منفی هم باید داشته باشد: بروز بعضی بیماری‌ها در میانسالی و یا سالخوردگی. از لحاظ نظری، اثر سن ممکن است معکوس باشد، بر پایه منطق مداور، انتخاب طبیعی به سختی از بیماری در جوانان حمایت می‌کند زیرا همان ژن در سالخوردگی اثر سودمندی دارد. علاوه بر آن، می‌توانیم دوباره به نکته مربوط به ژن تغییردهنده استناد کنیم. زمان فعال شدن هریک از چندین اثر یک ژن، آثار خوب و بد آن، می‌تواند در تکامل بعدی تغییر کند. بنابر اصل مداور، آثار خوب گرایش دارند در اوایل حیات فعال شوند، درحالی‌که آثار بد گرایش دارند به تأخیر افتند. علاوه بر آن، در مواردی یک بده‌بستان میان آثار اولیه و آثار بعدی برقرار خواهد بود. به این موضوع در بحث‌مان درباره ماهی آزاد اشاره کردیم. اگر جانوری مقدار محدودی منابع برای مصرف دارد، مثلاً، از نظر جسمی قوی شده و می‌تواند از خطر دوری جوید، از هرگونه گرایش برای مصرف زودتر آن منابع حمایت می‌شود تا از ترجیح مصرف دیرتر آن. احتمال بیشتری می‌رود آن‌ها که دیرتر مصرف می‌کنند، پیش از آن‌که بخت این را داشته باشند تا منابع خود را مصرف کنند، پیشاپیش به علل دیگری مرده باشند. نکته مداور را که در فصل ۱ با آن آشنا شدیم، از نظر زبانی به نحوی

پس وپیش می‌کنیم و می‌گوییم همه از یک خط نیاکانی منشاء گرفته‌اند و همه آن‌ها در زمانی از دوران حیاتشان جوان بوده‌اند، اما بسیاری از آن‌ها هیچ‌گاه پیر نبوده‌اند. بنابراین، هرچه را که برای جوان بودن، ولی لزوماً نه آن‌چه را که برای پیر بودن لازم است، به ارث می‌بریم. ما ژن‌های مردن برای مدت طولانی پس از تولد را به ارث می‌بریم، ولی نه ژن‌های مردن را برای مدت کوتاهی پس از تولد.

باز به آغاز بدبینانه این فصل بازمی‌گردیم. هنگامی که عملکرد سودمند، که به حداعلی رسیده است، زنده‌مانی دی.ان.ای باشد، دستورالعملی برای خوشحالی نیست. تا آن‌جا که دی.ان.ای انتقال می‌یابد، مهم نیست که در این فرآیند چه کسی یا چه چیزی آسیب می‌بیند. برای ژن‌های زنبور عقربی داروین بهتر است کرم پیله‌ساز هنگامی که خورده می‌شود زنده، و بنابراین تازه باشد، مهم نیست که چقدر ممکن است رنج بکشد. ژن‌ها اهمیتی به رنج کشیدن نمی‌دهند، زیرا آن‌ها اصلاً به چیزی اهمیت نمی‌دهند.

اگر طبیعت مهربان بود، دست‌کم می‌باید پیش از آن‌که کرم‌های پیله‌ساز زنده‌زنده و از درون خورده شوند، با بی‌حس کردن به آن‌ها امتیاز مختصری می‌داد. ولی طبیعت نه مهربان است و نه نامهربان. طبیعت نه مخالف رنج بردن است و نه موافق آن. طبیعت نسبت به رنج بردن در هر دو حالت بی‌تفاوت است، مگر آن‌که بر زنده‌مانی دی.ان.ای تأثیر بگذارد. خیلی آسان است ژنی را تصور کنیم که، مثلاً، غزال را وقتی در آستانه حس دندان درد کشنده‌ای قرار می‌گیرد، بی‌حس کند. آیا انتخاب طبیعی از چنین ژنی پشتیبانی می‌کند؟ خیر! مگر این‌که عمل بی‌حس کردن غزال فرصت انتشار ژن را به نسل‌های آینده بیشتر کند. این تصور که چرا باید

چنین باشد، بسی دشوار است؛ بنابراین، ممکن است حدس بزنیم غزال‌ها هنگامی که تا سرحد مرگ تعقیب می‌شوند درد عمیق و هراس پروانه‌ای را تحمل می‌کند - همچنان که سرانجام بیشتر آن‌ها به همین جا می‌کشد. کل کمیت رنج سالیانه در طبیعت فراتر از همه تأملات شایسته است. در چند دقیقه‌ای که طول می‌کشد تا این جمله را بنویسم، هزاران جانوران زنده‌زنده خورده می‌شوند؛ عده‌ای دیگر از درون انگل‌های ساینده می‌خورند؛ هزاران جانور از همه گونه‌ها از گرسنگی، تشنگی، و بیماری در حال مرگ‌اند. این طور هم باید باشد. اگر زمانی روزگار وفور فرا برسد، همین واقعیت خودبه‌خود به افزایش جمعیت می‌انجامد تا این‌که شرایط طبیعی قحطی و نگون‌بختی برقرار شود.

متکلمان و نوین‌پژوهان نگران «مسئله شر» و مبحث وابسته به آن «مسئله رنج» هستند. روزی‌که این عبارت‌ها را می‌نوشتم، همه روزنامه‌های انگلستان اخبار هراس‌انگیزی دربارهٔ اتوبوسی پر از کودکان یک مدرسه کاتولیک منتشر کردند که بدون هیچ دلیل مشخصی تصادف کرد و همه سرنشینان آن جان خود را از دست دادند. کشیشان در مواجهه با این مبحث کلامی که نویسنده‌ای در یک روزنامه لندن (ساندی تلگراف) از این قرار مطرح کرده بود: «چطور می‌توانید به خدای مهربان و قدرتمندی که بروز چنین فاجعه‌ای را مجاز می‌دارد، باور داشته باشید؟» دستخوش پریشانی شده بودند، ولی این نخستین بارشان نبود. نویسنده در ادامه، پاسخ یک کشیش را نقل کرده بود: «پاسخ ساده این است که ما نمی‌دانیم که چرا باید خدایی وجود داشته باشد که اجازه می‌دهد چنین رویدادهای مهیبی پیش آید. ولی وحشت از این حادثه در نزد یک مسیحی این حقیقت را تأیید می‌کند که ما در جهانی با ارزش‌های واقعی

زندگی می‌کنیم: مثبت و منفی. اگر جهان هستی فقط از الکترون‌ها ساخته شده بود، دیگر موضوع شریا رنج وجود نداشت.

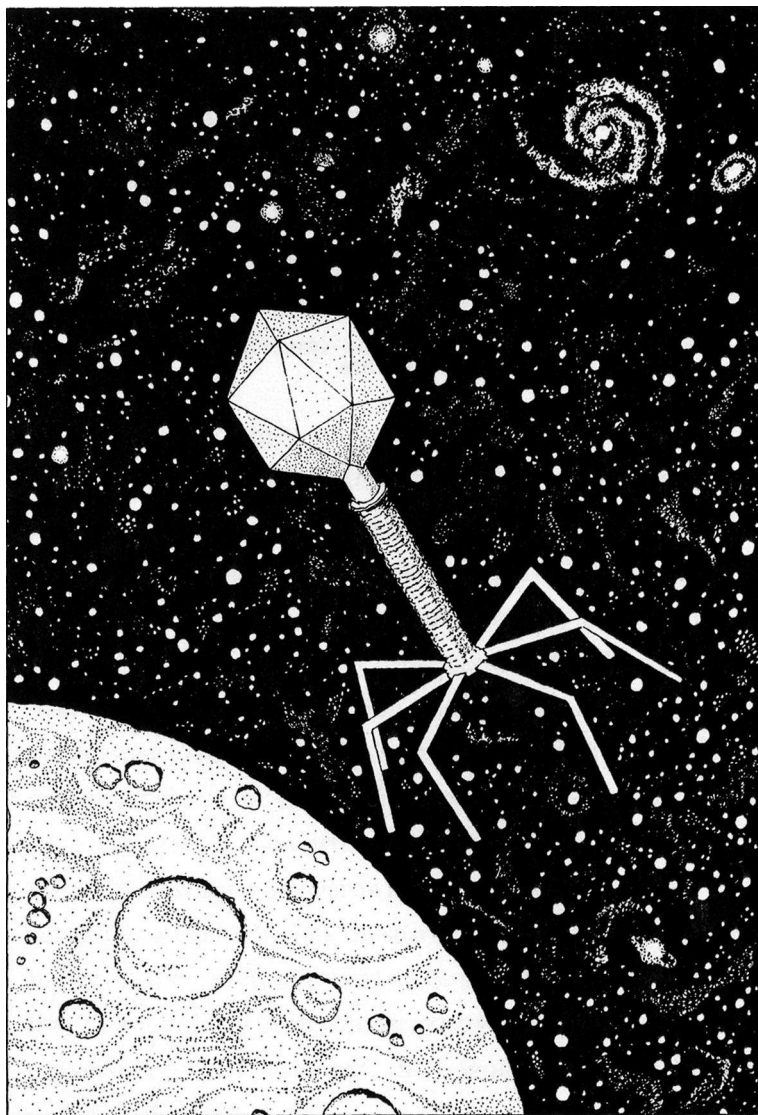
برعکس، اگر جهان فقط از الکترون‌ها و ژن‌های خودخواه ساخته شده بود، دقیقاً باید بروز فاجعه‌هایی بی‌معنی مانند تصادف این اتوبوس و احتمال مساوی پیش آمدن بخت مساعد و نامساعد را انتظار نمی‌داشتیم. هیچ‌گونه قصد و منظوری در این رویدادها جلوه‌گر نیست. در جهان هستی نیروهای فیزیکی کور و همانندسازی ژنتیکی، بعضی افراد آسیب خواهند دید، افراد دیگری بخت خوبی برای ادامهٔ حیات خواهند داشت، و هیچ نظم و دلیل و یا عدالتی در آن نمی‌یابید. جهان هستی را که می‌بینیم، دقیقاً از همان خصوصیتی برخوردار است که باید انتظارش را داشته باشیم که اگر درنهایت هیچ طرح، هیچ هدف، هیچ خیر و شری وجود نمی‌داشت، درعوض بی‌تفاوتی کور و بی‌رحمانه‌ای وجود داشت. به بیان ا.ی. هوسمان، شاعر غمگین:

زیرا طبیعت بی‌عاطفه، بی‌شعور

نه می‌داند و نه غم می‌خورد

دی.ان.ای نه می‌داند و نه غم می‌خورد. دی.ان.ای فقط وجود دارد. و

ما به ساز آن می‌رقصیم.



بمب همتاسازی

بیشتر ستارگان، و نمونه بارز آن خورشید در منظومه شمسی ما، هزاران میلیون سال است که به نحوی پایدار می سوزند. بسیار به ندرت در جایی از کهکشان ناگهان ستاره‌ای بدون هیچ هشدار آشکاری ناگهان شعله‌ور و به یک ابرنواختر تبدیل می شود. در خلال چند هفته، درخشندگی‌اش با ضریب چند میلیارد افزایش می‌یابد، و سپس در باقیمانده‌های تاریک وجود قبلی‌اش ناپدید می‌شود. ستاره‌ای در طی چند روز پرافروزش، در حکم یک ابرنواختر، ممکن است بیش از همه صدها میلیون سال پیش از آن‌که به عنوان یک ستاره معمولی زیسته بوده است، انرژی گسیل کند. اگر قرار باشد خورشید ما «به ابرنواختر تبدیل شود»، بی‌درنگ تمامی منظومه شمسی بخار خواهد شد. خوشبختانه پیش آمدن این رخداد بسیار نامحتمل است. در کهکشان صدها میلیارد ستاره ما، ستاره‌شناسان فقط سه ابرنواختر را ثبت کرده‌اند: در سال‌های ۱۰۵۴، ۱۵۷۲، و ۱۶۰۴ میلادی. سحابی خرچنگ بقایای واقعه سال ۱۰۵۴ است که ستاره‌شناسان چینی آن را ثبت کرده‌اند. (البته وقتی می‌گوییم واقعه سال ۱۰۵۴، منظورم این است که حادثه‌ای که خبر آن در سال ۱۰۵۴ به زمین رسید. خود واقعه شش هزار سال پیش از آن رخ داده بوده است. امواج نور آن در سال ۱۰۵۴ به زمین رسید.) از سال ۱۶۰۴ تنها ابرنواختری که مشاهده شده در کهکشان‌های دیگری بوده است.

نوع دیگر انفجار هم هست که ستاره می‌تواند دستخوش آن شود و دوام آورد. به جای تبدیل شدن به «ابرنواختر»، به «اطلاعات تبدیل می‌شود». انفجار آهسته‌تر از انفجار ابرنواختر آغاز می‌شود و به‌طور غیرقابل مقایسه‌ای مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا انجام پذیرد. ما آن را، به دلایلی که بعداً خواهیم دید، بمب اطلاعاتی یا بمب همتاسازی^۱ می‌نامیم. در چند میلیارد سال اولیه ایجاد آن، فقط اگر در مجاورتش می‌بودید، می‌توانستید یک بمب همتاسازی را آشکارسازی کنید. سرانجام، جلوه‌گری‌های دقیق انفجار شروع به انتشار در نواحی دورتر فضا کرد، و دست‌کم بالقوه از مسافت‌های دور قابل آشکارسازی بود. نمی‌دانیم چگونه این نوع انفجارها پایان می‌یابد. تصور می‌شود که در نهایت مانند ابرنواختر ناپدید می‌شود، ولی نمی‌دانیم در ابتدا معمولاً تا کجا پیش می‌رود. شاید با بروز فاجعه‌ای شدید و خودنابودگر پایان یابد. شاید با گسیل مکرر و آرام‌تر اشیاء، که با مسیری هدایت شده و نه مسیر پرتابه‌ای ساده، دور از ستارگان و به فواصل دور فضا پیش می‌رود، که در آن‌جا ممکن است منظومه‌های ستاره‌ای دیگر را با همان گرایش به انفجار آلوده کند.

علت این‌که تا این حد در مورد بمب همتاسازی در جهان هستی کم می‌دانیم، از این قرار است که فقط یک مثال از آن دیده‌ایم، و یک مثال از هر پدیده‌ای کافی نیست تا بر پایه آن موضوع را تعمیم دهیم. تاریخچه ما هنوز دارد پیش می‌رود. علت این امر آن است که زمین سه تا چهار میلیارد سال در حال انجام بوده است، و تازه به آستانه جدا شدن از همسایگی

1. replication bomb

نزدیک آن ستاره گام نهاده است. ستاره مورد نظر سُئل^۱ نام دارد، ستاره کوتوله زردرنگی که در کنار کهکشان ما و در یکی از شاخه‌های مارپیچ آن قرار دارد. ما آن را خورشید می‌نامیم. در واقع، انفجار در یکی از قمرهای موجود در مدار نزدیک به خورشید آغاز شد، ولی تمامی انرژی ادامه انفجار آن از خورشید دریافت می‌شود. البته آن قمر زمین است و چهار میلیارد سال انفجار یا بمب همتاسازی حیات نامیده می‌شود. ما انسان‌ها جلوه بی‌نهایت مهم همتاسازی به‌شمار می‌آییم، زیرا به‌دست ما، از طریق و به یاری مغزهای ما، فرهنگ و فناوری نمادین ماست، که ممکن است این انفجار به مرحله بعدی پیش برود و در ژرفای فضا بازتاب یابد.

گفته‌ام که هم‌اکنون بمب همتاسازی ما، تنها بمبی در عالم است که از آن اطلاع داریم، ولی لزوماً به این معنی نیست که رویدادهایی از این دست کمیاب‌تر از ابرنواخترهاست. باید پذیرفت که ابرنواخترها سه بار در کهکشان ما آشکارسازی شده‌اند، ولی مشاهده ابرنواخترها، به‌علت درصد مقادیر عظیم انرژی آزاد شده، از فاصله دور آسان‌تر است. تا چند دهه پیش از این که امواج رادیویی تولیدی انسان شروع به گسیلیدن به خارج از این سیاره کند، انفجار حیات خود ما را ناظران سیارات حتی کاملاً نزدیک نمی‌توانستند آشکارسازی کنند. شاید تنها جلوه برجسته انفجار حیات ما تا زمان‌های اخیر سد بزرگ مرجانی باشد.^۲

ابرنواختر انفجاری عظیم و ناگهانی است. رویداد راه‌اندازی هر انفجار

1. Sol

۲. Great Barrier Reef. به مجموعه بسیار بزرگی از صخره‌های مرجانی می‌گویند که در کرانه‌های شرقی استرالیا در اقیانوس آرام تشکیل شده، و بزرگ‌ترین آپسنگ‌های مرجانی جهان به‌شمار می‌آید. م.

از این قرار است که مقداری از آن از مقدار بحرانی فراتر می‌رود، که پس از آن لگام‌گسیخته می‌شود و نتایجی به‌بار می‌آید که بزرگ‌تر از رویداد راه‌اندازی اولیه است. رویداد راه‌اندازی بمب هم‌تاسازی از این قرار است که خود به‌خود از موجودات خود – هم‌تاساز اما تغییرپذیر ایجاد می‌شود. علت این‌که خود هم‌تاسازی بالقوه یک پدیده انفجاری است، شبیه به هر نوع انفجار دیگر است: رشد نمایی، یعنی هرچه که بیشتر داشته باشید، بیشتر به‌دست می‌آورید. به‌محض این‌که موجودی خود هم‌تاساز به‌دست می‌آورد، کوتاه زمانی بعد دوتا خواهید داشت. سپس هریک از این دو یک نسخه از خودش را تولید خواهد کرد و باز چهارتا خواهید داشت. سپس هشت، سپس شانزده، سی‌ودو، شصت‌وچهار... پس از فقط سی نسل از آغاز این تکثیر، بیش از یک میلیارد موجود تکثیر شده به‌دست آمده است. پس از پنجاه نسل، هزار میلیون میلیون از آن‌ها وجود خواهد داشت. پس از دویست نسل از لحاظ نظری میلیون میلیون میلیون میلیون در عمل، هرگز نمی‌تواند به این شماره برسد، زیرا این عدد بزرگ‌تر از تعداد اتم‌های موجود در جهان هستی است. فرایند انفجاری خود رونوشت‌برداری مدت‌های طولانی پیش از آن‌که به دویست نسل از تکثیری نامحدود برسد، باید محدود شود. هیچ مدرک مستقیمی از رویداد هم‌تاسازی در دست نداریم که این فرآیند را در این سیاره آغاز کرد. فقط می‌توانیم نتیجه بگیریم که به‌علت انفجار جمعی که ما بخشی از آن هستیم، باید رخ داده باشد. به‌دقت نمی‌دانیم رویداد مهم اولیه، یعنی آغاز خود هم‌تاسازی، چگونه بوده است، ولی می‌توانیم استنتاج کنیم که چه نوع رویدادی باید بوده باشد. این رویداد در حکم یک رویداد

شیمیایی آغاز شد.

واکنش‌های شیمیایی نمایشی است که در همه ستارگان و همه سیارات در حال اجراست. بازیگران واکنش شیمیایی اتم‌ها و مولکول‌هایند. حتی کمیاب‌ترین اتم‌ها با استانداردهای شمارش اعداد که با آن‌ها آشنا هستیم بی‌نهایت زیادند. ایزاک آسیموف محاسبه کرده است که شماره اتم‌های عنصر کمیاب آستاتین-۲۱۵ در کل آمریکای شمالی و جنوبی در عمق ۱۶ کیلومتری زمین «فقط یک تریلیون» است. واحدهای بنیادین شیمی همیشه در حال تعویض همدستان خود هستند تا همواره جمعیت بسیار بزرگ‌تر واحدهای بزرگ‌تر در حال جابه‌جایی - یعنی مولکول‌ها - را ایجاد کنند. با این حال، اگرچه مولکول‌های یک نوع معین بسیار زیادند، برخلاف مثلاً جانوران گونه‌های معین یا ویولون استرادیواریوس^۱ همیشه همانندند. امور عادی رقص اتمی مواد شیمیایی باعث شد بعضی مولکول‌ها فراوان‌تر شوند، درحالی‌که مولکول‌های دیگری کمیاب‌تر شدند. طبیعی است که زیست‌شناسان و سوسه شوند مولکول‌هایی را که در میان مولکول‌های دیگر فراوان‌ترند، مولکول‌های «موفق» توصیف کنند. ولی تسلیم شدن به این و سوسه کمکی به حل مسئله نمی‌کند. موفقیت به مفهوم روشنایی بخش کلمه، صفتی است که فقط در مرحله بعدی داستان ما پیدا می‌شود.

پس، این لحظه بحرانی مهم چه بود که انفجار حیات را آغاز کرد؟ گفته‌ام که پیدایش مواد خودتکثیر بود، ولی می‌توانیم به یکسان آن را

۱. Stradivarius. استرادیواریوس، خانواده ایتالیایی که در قرن‌های هفدهم و هیجدهم میلادی ابزارآلات موسیقی می‌ساختند، و به علت مرغوبیت و صدایی که از آن‌ها درمی‌آمد، پُرآوازه‌اند.

پیدایش پدیده وراثت بنامیم؛ فرآیندی که می‌توانیم آن را «شبه شبیه را تولید می‌کند» بنامیم. این چیزی نیست که مولکول‌ها به‌طور عادی به نمایش می‌گذارند. مولکول‌های آب که به تعداد عظیمی در کنار هم قرار دارند، چیزی شبیه به وراثت واقعی را بروز نمی‌دهند. در ظاهر، شاید به نظر تان برسد که آن‌ها این وراثت را بروز می‌دهند. هنگامی که هیدروژن (H) با اکسیژن (O) می‌سوزد، تعداد مولکول‌های آب (H_2O) افزایش می‌یابد. هنگامی که آب از طریق الکترولیز به حباب‌های هیدروژن و اکسیژن شکافته می‌شود، تعداد مولکول‌های آب کاهش می‌یابد. ولی هرچند یک نوع پویایی در جمعیت مولکول‌های آب پدید می‌آید، وراثتی در کار نیست. حداقل شرایط برای یک توارث واقعی، وجود دست‌کم دو نوع متفاوت مولکول آب است که هر دو منجر به رونوشت‌هایی از خودشان (تولیدمثل) شوند.

گاهی مولکول‌ها به دو شکل قرینه یافت می‌شوند. دو نوع مولکول گلوکز وجود دارد، که اتم‌های مشابهی دارند و به‌طور مشابهی با هم پیوند برقرار می‌کنند با این تفاوت که این مولکول‌ها تصویر آینه‌ای یکدیگرند. همین موضوع در مورد مولکول‌های قند، و علاوه بر آن، مولکول‌های دیگر، از جمله آمینواسیدهای بسیار مهم، صادق است. شاید در این‌جا فرصتی برای «شبه شبیه را تولید می‌کند»، در مورد وراثت شیمیایی، پیش می‌آید. آیا ممکن است مولکول‌های راستگرد مولکول‌های فرزند راستگرد، و مولکول‌های چپگرد، مولکول‌های فرزند چپگرد تولید کنند؟ البته، اطلاعات زمینه‌ای را درباره مولکول‌های دارای تصویر آینه‌ای ارائه می‌دهیم. این پدیده را ابتدا دانشمند بزرگ فرانسوی، لویی پاستور، در قرن نوزدهم کشف کرد که داشت به بلورهای تارتارات نگاه می‌کرد. این

ماده نمک اسید تارتاریک، ماده مهمی در شراب است. بلور آن ساختاری جامد و چندان بزرگ است که با چشم غیرمسلح دیده شود، و در مواردی آن‌ها را به عنوان تزئین به گردن می‌آویزند. این بلورها هنگامی ایجاد می‌شوند که اتم‌ها یا مولکول‌های یک شکل بر روی هم انباشته می‌شوند تا جسم جامدی را بسازند. آن‌ها به طور درهم‌وبرهمی روی هم قرار نمی‌گیرند، بلکه در یک آرایش منظم هندسی، مانند نگهبانان هم‌اندازه با تمرین نظامی بدون عیب، قرار می‌گیرند. مولکول‌هایی که پیشاپیش بخشی از بلورند، قالبی را برای اضافه شدن مولکول‌های جدید تشکیل می‌دهند، که از محلول آبکی بیرون می‌آیند و به دقت در آن جای می‌گیرند، به طوری که تمامی بلور در یک شبکه هندسی و دقیق رشد می‌کند. به همین علت است که بلورهای نمک مربعی شکل و بلورهای الماس چهاروجهی‌اند. هنگامی که هر شکل مانند یک قالب برای ساخت شکل دیگری مانند خودش عمل می‌کند، نشانه‌ای از احتمال وجود خودهمتاسازی رخ می‌نماید.

حال به بلورهای تارتارات پاستور بازمی‌گردیم. پاستور پی برد هنگامی که محلول تارتارات در آب را به کناری می‌گذارد، دو نوع متفاوت بلور همانند پدیدار می‌شود، با این تفاوت که آن‌ها تصویر آینه‌ای همدیگر بودند. وی با زحمت زیاد دو نوع بلور را به دو قسمت مجزا تقسیم کرد. وقتی آن‌ها را دوباره به طور جداگانه حل کرد، دو محلول مختلف به دست آمد: دو نوع محلول تارتارات. هرچند دو نوع محلول از هر لحاظ شبیه بودند. وی پی برد که آن‌ها نور قطبیده را در دو جهت مختلف می‌چرخانند. این پدیده است که به این دو نوع مولکول نام معمولی چپگرد و راستگرد را می‌دهد، زیرا آن‌ها نور قطبیده را، به ترتیب، در

جهت پادساعتگرد و در جهت ساعتگرد می چرخاند. همان طور که حدس می زنید، هنگامی که یک بار دیگر در هر دو محلول بلور تشکیل می شود، هرکدام بلورهایی تولید می کند که تصویر آینه‌ای بلورهای دیگرند. مولکول‌های دارای تصویر آینه‌ای از یک لحاظ مشخص‌اند، مانند کفش پای راست و پای چپ؛ هرچقدر هم سعی کنید، نمی‌توانید آن‌ها را چنان بچرخانید که یکی از آن‌ها را به جای دیگری به کار ببرید. محلول اولیه پاستور مخلوطی از دو نوع مولکول بود، و هرکدام از هر دو نوع هنگام تبلور اصرار داشتند به نوع خودشان بپیوندند. وجود دو (یا چند) نوع مشخص از یک موجود، شرط لازم برای وراثت واقعی است، ولی شرط کافی نیست. برای این که در میان بلورها وراثت واقعی برقرار باشد، بلورهای راستگرد و چپگرد وقتی به اندازه بحرانی رسیدند باید دو نیمه شوند و هر نیمه دوباره همچون قالبی برای رشد ابعاد کامل عمل کند. در این شرایط واقعاً جمعیت در حال رشدی از دو نوع بلور رقیب در دست خواهیم داشت. واقعاً ممکن است از «موفقیت» در ازدیاد جمعیت صحبت کنیم، زیرا، از آن جا که هر دو نوع بلور برای برخورداری از همان اتم‌های تشکیل‌دهنده‌شان رقابت می‌کنند، یک نوع ممکن است به علت «خوب» بودن در تولید رونوشت‌هایی از خودش، به هزینه نوع دیگر، فراوان شود. متأسفانه تعداد بی‌شماری از مولکول‌های شناخته شده این خاصیت منحصر به فرد وراثت را ندارند.

می‌گوییم «متأسفانه»، زیرا شیمیدان‌ها که سعی دارند برای مقاصد پزشکی مولکول‌هایی را بسازند، که مثلاً، همگی چپگرد هستند، صمیمانه دوست دارند بتوانند آن‌ها را «پرورش» دهند. ولی تا آن جا که مولکول‌ها مانند قالبی برای ساخت مولکول‌های دیگر به کار می‌روند،

آن‌ها معمولاً این کار را برای تصویر آینه‌ای خود انجام می‌دهند، نه برای مولکول‌هایی که مانند خود هستند. این موضوع کارها را دشوار می‌کند، زیرا اگر با یک مولکول چپگرد آغاز کنید، مخلوطی مساوی از مولکول‌های چپگرد و راستگرد به دست می‌آورید. شیمیدان‌هایی که در این حوزه کار می‌کنند، تلاش دارند مولکول‌ها را به «پرورش» مولکول‌های فرزند از همان نوع وادار کنند. انجام این کار بسیار دشوار است.

در واقع، نوعی از این ترفند به طور طبیعی و خودبه‌خود چهار هزار میلیون سال پیش از این اجرا شد؛ اگرچه احتمالاً شامل راستگرد و چپگرد نمی‌شد؛ و آن هنگامی بود که جهان هستی تازه پدید آمده و انفجاری که به ایجاد حیات و اطلاعات انجامید، آغاز شد. ولی پیش از آن‌که این انفجار بتواند به طور کامل درگیر شود، چیزی بیش از وراثت ساده لازم بود. حتی اگر یک مولکول میان شکل‌های چپگرد و راستگرد وراثت واقعی را بروز دهد، هرگونه رقابت میان آن‌ها نتایج بسیار جالبی دربر نمی‌داشت، زیرا فقط دو نوع از آن وجود دارد. اگر نوع چپگرد مسابقه را برده بود، پایان ماده فرا می‌رسید؛ دیگر هیچ‌گونه پیشرفتی در کار نمی‌بود.

مولکول‌های بزرگ می‌توانند چپگردی و راستگردی را در بخش‌های مختلف مولکول خود نمایش دهند. مثلاً، آنتی‌بیوتیک مونسین، هفده مرکز بی‌تقارن دارد. در هریک از این هفده مرکز، یک شکل چپگرد و راستگرد وجود دارد. اگر عدد ۲ را ۱۷ بار در خودش ضرب کنند، عدد ۱۳۱۰۷۲ به دست می‌آید، و بنابراین ۱۳۱۰۷۲ شکل مشخص از این مولکول یافت می‌شود. اگر این ۱۳۱۰۷۲ شکل خاصیت وراثت واقعی را

داشتند و هرکدام فقط نوع خودش را تولید می‌کرد، می‌توانست رقابت کاملاً پیچیده‌ای شکل بگیرد، زیرا موفق‌ترین اعضای این گروه ۱۳۱۰۷۲ تایی، به تدریج خود را در میان آمار جمعیت موفق نشان می‌دادند. ولی حتی این هم نوع محدودی از وراثت می‌بود، زیرا ۱۳۱۰۷۲، اگرچه عدد بزرگی است، اما محدود است. برای این‌که انفجار حیات ارزش همین نام را داشته باشد، وراثت، اما نوع نامحدود و نیز بی‌انتهای آن، لازم است.

تا جایی‌که به وراثت تصویر آینه‌ای مربوط می‌شود، با مونسین به انتهای جاده رسیده‌ایم. ولی چپگردی در برابر راستگردی تنها نوع اختلافی نیست که ممکن است خودش را در اختیار رونوشت‌برداری توارشی بگذارد. ژولیوس رِبک و همکارانش در مؤسسه تکنولوژی ماساچوست شیمیدان‌هایی‌اند که چالش تولید مولکول‌های خودهمتاساز را جدی گرفته‌اند. انواعی که آن‌ها به کار می‌گیرند تصویر آینه‌ای همدیگر نیستند. رِبک و همکارانش دو مولکول کوچک را اختیار کردند - جزییات نام آن‌ها اهمیتی ندارد، بگذارید آن‌ها را «الف» و «ب» بنامیم. هنگامی که «الف» و «ب» در محلولی مخلوط می‌شوند، به همدیگر می‌پیوندند و ترکیب سومی را می‌سازند که آن را - درست حدس زدید - «ج» می‌نامند. هر مولکول «ج» مانند یک قالب یا الگو عمل می‌کند. «الف»ها و «ب»ها که به آزادی در محلول شناورند، در قالب می‌افتند. یک «الف» و یک «ب» در قالب می‌افتند و درمی‌یابند که به‌طور صحیحی کنار هم قرار گرفته‌اند تا یک «ج» جدید بسازند، درست مانند «ج» قبلی. «ج»ها به همدیگر نمی‌چسبند تا یک بلور ایجاد کنند، بلکه جدا از هم قرار دارند. هر دو «ج» اکنون به شکل قالب‌هایی برای ساختن «ج»های جدید وجود دارند،

به طوری که جمعیت «ج»ها به صورت نمایی رشد می کند.

همان طور که تا این جا شرح دادیم، این سیستم وراثت واقعی را نشان نمی دهد، بلکه نتیجه را نمایش می دهد. مولکول «ب» به شکل های مختلفی یافت می شود، که هر کدام از آنها با مولکول «الف» ترکیب می شود و نوع مولکول «ج» خود را می سازد. به این ترتیب، ما مولکول «ج ۱»، «ج ۲»، «ج ۳» و جز آنها را داریم. هریک از این انواع مولکول های «ج»، مانند یک قالب برای ساخت مولکول های «ج» نوع خودش عمل می کند. بنابراین، جمعیت «ج»ها ناهمگون است. علاوه بر آن، همه انواع مختلف «ج» در تولید فرزند کارایی یکسانی ندارند. به این ترتیب، میان انواع رقیبان مولکول «ج» در جمعیت مولکول های «ج» رقابت جاری است. تازه بهتر از این، می توان با پرتو فرابنفش در مولکول «ج»، «جهش خودبه خود» به وجود آورد. ثابت شده که نوع جهش یافته جدید «تولید مثل واقعی می کند»، و درست همانند خودش مولکول های فرزند پدید می آورد. نوع جدید که نوع والدین را شکست داد، به سرعت کل لوله آزمایش را فراگرفت که در آن این موجودات ابتدایی زندگی می کردند. مجموعه «الف» / «ب» / «ج» تنها گروه مولکول ها نیست که به این ترتیب عمل می کند. اگر بخواهیم یک سه تایی قابل مقایسه را نام ببریم، مجموعه «د»، «ح» و «ف» نیز وجود دارد. گروه رِیک حتی توانسته است دورگه های خود همتاساز از عناصر مجموعه «الف» / «ب» / «ج» و مجموعه «د» / «ح» / «ف» بسازد.

مولکول هایی که واقعاً از خود رونوشت برمی دارند و آنها را در طبیعت می شناسیم — نوکلئیک اسیدهای دی.ان.ای و آر.ان.ای — به طور کلی برای تغییر استعداد و توانایی بیشتری دارند. در حالی که،

همتاساز رِیک یک زنجیره مولکولی با دو پیوند است، هر مولکول دی.ان.ای یک زنجیره دراز با طول نامحدود است. هریک از صدها پیوند در این زنجیره می‌تواند یکی از چهار نوع پیوند باشد، و هنگامی که قطعه معینی از دی.ان.ای به صورت یک قالب برای مولکول جدیدی از دی.ان.ای عمل می‌کند، هریک از چهار نوع پیوند در حکم یک قالب برای یکی از چهار پیوند معین و متفاوت عمل می‌کند. این چهار واحد که باز خوانده می‌شوند، عبارت‌اند از ترکیبات آدنین، تیمین، سیتوزین، و گوانین، که با حروف A, C, T, و G نمایش داده می‌شوند. A همیشه مانند یک قالب برای T عمل می‌کند و برعکس. G همیشه مانند یک قالب برای C عمل می‌کند و برعکس. هرگونه مرتب‌سازی A, C, T, و G قابل تصور و میسر است و دقیقاً نسخه‌برداری خواهد شد. علاوه بر آن، از آنجا که طول زنجیره‌های دی.ان.ای نامحدود است، دامنه تغییرات موجود به طور مؤثری نامحدود خواهد بود. این امر دستورالعمل بالقوه‌ای برای انفجار اطلاعاتی است که پژواک آن سرانجام به بیرون از سیاره زیستگاه آن خواهد رسید و ستارگان را لمس خواهد کرد.

پژواک انفجار اطلاعاتی منظومه شمسی ما در بیشتر مدت زمان چهار میلیارد سالی که رخ داده به سیاره زیستگاه آن محدود بوده است. فقط در یک میلیون سال اخیر یک دستگاه عصبی قادر به اختراع فناوری رادیویی شده است. و فقط در چند دهه گذشته آن دستگاه عصبی واقعاً فناوری رادیویی را ابداع کرده است. اکنون یک لایه امواج رادیویی پر از اطلاعات با سرعت نور به سوی خارج از این سیاره پیش می‌رود.

می‌گویم «پر از اطلاعات»، زیرا پیشاپیش امواج رادیویی فراوانی وجود داشتند که پیرامون کیهان کمانه می‌کردند. ستارگان در بسامدهای

رادیویی و نیز در بسامدهایی که ما به نام نور مرئی می شناسیم، می تابند. حتی مقدار صدای هیس زمینه‌ای از بقایای مه‌بانگ اولیه وجود دارد که زمان و جهان هستی با آن آغاز شده است. ولی از الگوی معناداری برخوردار نیست: از اطلاعات غنی نیست. یک اخترشناس رادیویی در سیاره‌ای که پروکسیماقنطورس^۱ را دور می‌زند. همان هیس زمینه‌ای را می‌شنود که اخترشناس رادیویی ما در زمین؛ ولی او نیز به کلی متوجه الگوی بسیار پیچیده‌تر امواج رادیویی می‌شود که از جهت ستاره خورشید گسیل می‌شود. این الگو همچون آمیزه‌ای از برنامه‌های تلویزیونی چهارساله شناخته نمی‌شود، بلکه به شکل کاملاً الگومندتر و غنی از اطلاعات از هیس زمینه‌ای معمولی باید بازشناخته شود. فضاانوردان قنطورس در میان هیجان فراوان گزارش خواهند داد که ستاره خورشید در یک انفجار اطلاعاتی مشابه ابرنواختر منفجر شده است (آن‌ها گمان خواهند برد، ولی ممکن است مطمئن نباشند، که این اطلاعات در واقع از سیاره‌ای بوده است که مدار خورشید را دور می‌زند).

همان‌طور که ملاحظه کرده‌ایم، بمب‌های همتاساز نسبت به ابرنواختر از دوره زمانی کندتری پیروی می‌کنند. چند میلیارد سال طول کشیده تا بمب همتاساز خود ما به آستانه رادیویی برسد؛ یعنی لحظه‌ای که بخشی از این اطلاعات از جهان مادر سرریز شده و شروع به انتشار ضربان‌های معنی‌دار در منظومه‌های ستارگان مجاور می‌کند. می‌توانیم حدس بزنیم که انفجارهای اطلاعاتی، اگر انفجار ما نمونه آن باشد، از مجموعه‌های

۱. Proxima Centauri. یک ستاره کوتوله سرخ به فاصله ۲/۴ سال نوری تا زمین؛ نزدیک‌ترین ستاره به زمین، بعد از خورشید، در صورت فلکی قنطورس. م.

پیمانه‌ای آستانه‌ها می‌گذرد. آستانه رادیویی، و پیش از آن آستانه زبان، بعدها در مسیر بمب همتاساز یافت شد. پیش از آن‌که بتوان آن را آستانه سلول عصبی نامید - دست‌کم بر روی این سیاره - و پیش از آن‌که آستانه پرسلولی‌ها وجود داشته باشد. آستانه شماره یک، یعنی پدربزرگ همه آن‌ها، آستانه همتاساز بود، حادثه آغازگری که تمامی انفجار را ممکن کرد.

اهمیت همتاسازها در چیست؟ چگونه ممکن است احتمال پیدایش مولکولی با این خاصیت ظاهراً بی‌زیان کاربری به‌عنوان یک قالب برای سنتز مولکول دیگری مانند خودش آغازگر انفجاری باشد که پژواک نهایی آن ممکن است تا فراسوی سیارات برود. همان‌طور که دیده‌ایم، بخشی از قدرت همتاسازها در رشد نمایی نهفته است. یک مثال ساده در این مورد نامه به اصطلاح زنجیره‌ای^۱ است. شما نامه‌ای دریافت می‌کنید که در آن نوشته است: «شش رونوشت از این نامه تهیه کنید و در ظرف یک هفته برای شش نفر از دوستانتان بفرستید. اگر این کار را نکنید، نفرین خواهید شد و در ظرف یک ماه با درد وحشتناکی خواهید مرد.» اگر فرد عاقلی باشید آن را دور می‌اندازید. ولی تعداد زیادی از مردم این‌طور نیستند. آن‌ها به‌طور مبهمی فریفته، یا مرعوب تهدید می‌شوند و شش نسخه برای افراد دیگر می‌فرستند. از این شش نفر، شاید دو نفر قانع می‌شوند که آن را برای شش نفر دیگر بفرستند. اگر به‌طور متوسط یک سوم افرادی که نامه را دریافت می‌دارند، دستوری را که در آن نوشته شده است اجرا کنند، شماره نامه‌های در جریان هر هفته دو برابر

۱. Chain-leeter. نامه‌ای که برای عده‌ای از مردم فرستاده و درخواست می‌شود آن را تکثیر کنند و به دیگران برسانند که آن‌ها هم همین کار را تکرار کنند. م.

می شود. از لحاظ نظری، به معنای آن است که شمار نامه‌های در جریان پس از یک سال ۲ به توان ۵۲، یا در حدود چهار هزار تریلیون خواهد بود، که برای خفه کردن همهٔ مردان، زنان و کودکان جهان کافی است. رشد نمایی، اگر با فقدان منابع کنترل نشود، همواره در مدت کوتاهی به نتایجی تکان‌دهنده در مقیاس بزرگ منجر می‌شود. عملاً، منابع محدود است و عوامل دیگری هم به محدود کردن رشد نمایی کمک می‌کنند. در مثال فرضی ما، هنگامی که همان نامه زنجیره‌ای برای بار دوم به افراد می‌رسد به احتمال شروع به طفره رفتن می‌کنند. در رقابت برای منابع، ممکن است انواعی از همتاسازها یافت شوند که تصادفاً در تکثیر خود کارآمدترند. این همتاسازهای کارآمدتر گرایش به جایگزین شدن به جای رقیبان کمتر کارآمد خود خواهند داشت. فهم این نکته مهم است که هیچ‌یک از این موجودات همتاساز آگاهانه به تکثیر خود علاقمند نیستند. ولی همین‌طوری اتفاق می‌افتد که جهان از همتاسازهایی کارآمدتر پر می‌شود. در مورد نامه زنجیره‌ای، کارآمد بودن ممکن است جمع‌آوری مجموعه بهتری از کلمات بر روی کاغذ باشد. به جای عبارت تاحدی ناپسند «اگر از جملات این نامه پیروی نکنید، در ظرف یک ماه با درد وحشتناکی خواهید مرد»، پیام ممکن است به جمله زیر تغییر یابد «لطفاً، روح خود و روح مرانجات دهید، دستورهای این نامه را اجرا کنید و نامه را برای شش نفر دیگر ارسال دارید.» چنین «جهشی» می‌تواند بارها و بارها رخ دهد، و نتیجه آن در نهایت مجموعه ناهمگونی از پیام‌ها خواهد بود که همه در گردش‌اند. همگی از همان نیای اولیه ناشی شده‌اند، اما در جزییات کلمات و در قدرت و کیفیت چرب‌زبانی به کار رفته تفاوت دارند. تناوب انواع موفق‌تر، به هزینه رقیبانی با موفقیت کمتری افزایش خواهد

یافت. موفقیت صرفاً مترادف با تناوب در گردش است. «نامه تائوس قدیس»^۱ نمونه‌ای از این موفقیت است. تاکنون چندین بار در سراسر جهان چرخیده و احتمالاً در طی این جریان افزایش یافته است. درحالی‌که داشتم این کتاب را می‌نوشتم متن زیر توسط دکتر اولیور گوداناف از دانشگاه ورمانت برایم فرستاده شد، و ما یک مقاله مشترک به نام «ویروس ذهن» در مجله نیچر درباره آن منتشر کردیم:

با عشق همه چیز ممکن است

این نامه برای خوشبختی به جانب شما فرستاده شده است. نسخه اصلی در نیوانگلند است. این نامه ۹ بار دنیا را دور زده است. خوشبختی برای شما فرستاده شده است. در ظرف ۴ روز از دریافت این نامه خبری خوش دریافت خواهید کرد، به شرط آن‌که شما هم به نوبه خود آن را برای دیگران بفرستید. پول نفرستید. نسخه‌هایی از آن را برای کسانی بفرستید که فکر می‌کنید به خوشبختی نیاز دارند. پول نفرستید، زیرا ایمان را نمی‌توان ارزش‌گذاری کرد. این نامه را نزد خود نگه ندارید. باید دستتان را ظرف ۹۶ ساعت ترک کند. افسری به نام جوالیوت ۴۰ میلیون دلار دریافت کرد. وِلش زنش را ۵ روز پس از دریافت این نامه از دست داد. او از پخش کردن این نامه خودداری کرده بود. با این حال، پیش از مرگ زنش ۷۵۰۰ دلار دریافت کرد. لطفاً نسخه‌هایی از نامه را بفرستید و ببینید که پس از ۴ روز چه می‌شود. این زنجیره از ونزوئلا آغاز می‌شود و به دست سائول آنتونی دگناس نوشته شده

۱. St. Jude. تادئوس قدیس یکی از حواریون عیسی مسیح و بنیانگذار مذهب کلیسای حوایر ارمنی شناخته می‌شود و در قره کلیسا، ایران، دفن است. م.

است. وی یک مبلغ مذهبی اهل آمریکای جنوبی است. چون آن نسخه باید دور دنیا بچرخد، باید ۲۰ نسخه از آن تهیه کنید و برای دوستان و نزدیکان بفرستید تا پس از چند روز یک اتفاق شگفت برایتان رخ دهد. به این نکته توجه کنید: کانتونار دیاس این نامه را در سال ۱۹۰۳ دریافت کرد. او از منشی‌اش خواست تا نسخه‌هایی از آن را تهیه کند و برای دیگران بفرستد. چند روز بعد در یک بخت‌آزمایی ۲۰ میلیون دلاری برنده شد. کارل دوبیت، کارمند اداره، این نامه را دریافت و فراموش کرد که باید ظرف ۹۶ ساعت از دستانش خارج شود، او شغلش را از دست داد. پس از یافتن نامه، ۲۰ نسخه از آن تهیه کرد و فرستاد. چند روز بعد شغل بهتری یافت. دولان فیرچیلد نامه را دریافت کرد و آن را باور نکرد و به دور انداخت. ۹ روز بعد مرد. در سال ۱۹۸۷ نامه به دست زن جوانی در کالیفرنیا رسید. نامه کمرنگ شده بود و به سختی خوانده می‌شد. او قول داد که نامه را دوباره تایپ کند و بفرستد، او آن را به کناری گذاشت تا بعد انجام دهد. دچار مشکلات مختلفی شد، از جمله خراب شدن پرهزینه ماشینش. این نامه در ظرف ۹۶ ساعت از دستان او خارج نشد، سرانجام همان‌طور که قول داده بود نامه را تایپ کرد و ماشین جدیدی را صاحب شد. فراموش نکنید پول نفرستید. این را نادیده بگیرید، مؤثر است.

این سند مضحک حاوی همه نشانه‌هایی است که از طریق تعدادی جهش تکامل یافته است. خطاها و اشتباهات زیادی دارد و معلوم شده است که متن‌های دیگری از آن در جریان است. از وقتی که مقاله ما در

مجله نیچر منتشر شد، چندین متن بسیار متفاوت از آن از سرتاسر جهان برای من فرستاده شده است. مثلاً، در یکی از این متن‌های متفاوت به جای «افسر نیروی زمینی»، افسر نیروی هوایی آمده است. نامه تادئوس مقدس برای اداره پست ایالات متحده آمریکا به خوبی شناخته شده است. این اداره گزارش می‌دهد که پیش از آن‌که این اداره به‌طور رسمی بایگانی خود را آغاز کند این نامه در گردش بوده و با همه‌گیری‌های بازگردنده شیوع یافته است.

توجه کنید که خوشبختی‌هایی که برای نویسندگان نامه و بدبختی‌هایی که برای امتناع‌کنندگان از نوشتن نامه پیش آمد، نمی‌توانسته است توسط خود قربانیان / بهره‌برداران نوشته شده باشد. بخت مساعد بهره‌وران تا پیش از آن‌که نامه از دست آن‌ها خارج شود، سراغ آن‌ها نرفت. و قربانیان هم که نامه‌ای ننوشتند. همان‌طور که به‌طور مستقل از ناممکن بودن محتوایشان می‌توان حدس زد؛ تصور می‌شود که این داستان ساختگی باشد. این موضوع ما را به رابطه اصلی برمی‌گرداند که در آن نامه‌های زنجیره‌ای با همتاسازهای طبیعی تفاوت دارند که انفجار حیات را آغاز کردند. نوشتن نامه‌های زنجیره‌ای را در اصل انسان‌ها آغاز کردند، و تغییرات کلماتشان در سر انسان‌ها پیدا می‌شود. در آغاز انفجار حیات هنوز ذهن، خلاقیت و قصد و هدفی وجود نداشت. فقط شیمی وجود داشت. باین حال، پس از این‌که مواد شیمیایی خودهمتاساز فرصت وجود یافتند، یک گرایش خودکار برای انواع موفق وجود داشته است تا به هزینه انواع کمتر موفق و مبرمشان افزایش یابد.

در مورد نامه‌های زنجیره‌ای، موفقیت در میان همتاسازهای شیمیایی فقط با وفور در گردش آن مترادف است. ولی این فقط یک تعریف است:

تقریباً یک همان‌گویی یا توضیح واضح‌تر است. موفقیت با شایستگی عملی به دست می‌آید، و شایستگی به معنی چیزی عینی و هر چیزی جز همان‌گویی است. یک مولکول همتاساز موفق آن مولکولی است که، به دلایل فنی شیمیایی مفصل، آن چیزی را دارد که برای تکثیر یافتن لازم است، معنی آن در عمل می‌تواند تقریباً به‌طور نامحدودی متغیر باشد، اگرچه طبیعت خود همتاسازها می‌تواند به‌طور شگفت‌آوری یک‌دست به‌نظر آید.

دی.ان.ای چندان یک‌دست است که فقط تفاوت‌هایی در ردیف همان چهار «حرف» را دربرمی‌گیرد: A, T, C, و G. در مقایسه، همان‌طور که در فصل‌های پیشین دیدیم، شیوه‌هایی که دی.ان.ای به کار می‌گیرد تا خود را همتاسازی کند، به‌طور بهت‌آوری متغیر است. این شیوه‌ها شامل ساختن قالب‌های کارآمدتری برای اسب‌های آبی، پاهای فرماندتری برای مگس‌ها، بال‌هایی که از نظر آئرودینامیک مؤثرترند برای بادخورک‌ها، و بادکنک‌های سبک‌تر برای ماهیان است. همه اندام‌ها و اعضای بدن جانوران، ریشه‌ها، برگ‌ها و گل‌های گیاهان، همه چشم‌ها و مغزها و ذهن‌ها، و حتی بیم و امیدها ابزارهایی‌اند که از طریق آن‌ها رشته‌های توالی‌های موفق دی.ان.ای خود را به آینده می‌برند. خود این ابزارها تقریباً به‌طور نامحدودی متغیرند، ولی دستورعمل برای ساختن آن ابزارها، برخلاف آن، به‌طور خنده‌آوری یکسان است. صرفاً جایکشت در پی جایکشت A, T, C, و G.

شاید همیشه این‌طور نبوده باشد. هیچ مدرکی نداریم مبنی براین که هنگامی که انفجار اطلاعات آغاز شد، رمزدانه در حروف دی.ان.ای نوشته شده بوده باشد. به گفته گراهام کیرن اسمیت شیمیدان، در واقع،

تمامی فناوری اطلاعات مبتنی بر دی.ان.ای / پروتئین چندان پیچیده و مستلزم فناوری پیشرفته است، به دشواری می توان تصور کرد که، بدون هیچ سیستم خودهمتاساز دیگری به عنوان پیشرو، به طور تصادفی ایجاد شده باشد. این پیشروان ممکن است آر.ان.ای بوده باشند؛ یا ممکن است چیزی شبیه مولکول های ساده خودهمتاساز ژولیوس ریک باشد؛ یا ممکن است چیزی بسیار متفاوت بوده باشد: یک امکان و سوسه انگیز، که من به طور مشروح در کتاب ساعت ساز نابینا شرح داده ام. پیشنهاد خود کیرین-اسمیت در مورد بلورهای کانی رس همچون همتاسازهای دیرینه^۱ است (کتاب *هفت نشانه از منشاء حیات*^۲ را ببینید).

آنچه می توانیم انجام دهیم حدس زدن در مورد گاه شناسی کلی انفجار حیات در هر سیاره و در هر جایی از کیهان است. جزئیات آنچه که عمل می کند باید به شرایط محلی وابسته باشد. سیستم دی.ان.ای / پروتئین در جهان سرد آمونیاک مایع عمل نمی کند، ولی شاید بعضی سیستم های دیگر وراثت و رویان شناسی کار کنند. در هر حال، آن ها فقط نوعی از ویژگی هایی اند که می خواهم نادیده بگیرم، زیرا می خواهم بر روی اصول دستور عمل عمومی مستقل از سیاره تمرکز کنم. اکنون به طور روشمندتری به فهرست آستانه هایی می پردازم که انتظار می رود هر بمب همتاسازی سیاره ای در آن پذیرفته شود. احتمال دارد بعضی از این ها واقعاً جهانشمول باشند. برخی دیگر ممکن است مختص سیاره ما باشد. ممکن است همیشه آسان نباشد که تعیین کنیم کدام یک احتمالاً جهانشمول و کدام یک محلی اند، و این پرسش در حد خودش جالب است.

1. primordial replicators

2. Sixen clues to the origin of life

البته آستانه ۱، خودش آستانه همتاساز است: ظهور نوعی سیستم از خودرونوشت برداری که در آن دست‌کم یک شکل ابتدایی از تغییرات توارشی، با خطاهای اتفاقی و گهگاهی به هنگام رونوشت برداری، پیش می‌آید. پیامد آستانه ۱ پس از انتقال، از این قرار است که سیاره از جمعیت مختلطی برخوردار خواهد شد، که در آن بدیل‌های مختلف برای دسترسی به منابع به رقابت می‌پردازند. منابع کمیاب خواهند بود یا هنگامی که رقابت شدت می‌گیرد، کمیاب خواهند شد. رونوشت بعضی بدیل‌ها در رقابت برای دسترسی به منابع کمیاب به‌طور نسبی موفق خواهند شد. برخی دیگر به‌طور نسبی ناموفق خواهند بود. بنابراین، اکنون یک شکل ابتدایی انتخاب طبیعی در اختیار داریم.

اولاً، موفقیت در میان همتاسازهای رقیب به تمامی برحسب خواص مستقیم خود همتاساز دآوری خواهد شد؛ مثلاً، چگونه شکل آن‌ها با یک قالب جور خواهد شد. اکنون پس از نسل‌های بسیار تکامل، ما به آستانه ۲، یا رخنمونه^۱ می‌رسیم. همتاسازها نه فقط به اتکای خواص خودشان زنده می‌مانند، بلکه به اعتبار آثار علی (علت و معلولی) بر چیزی دیگر، که ما آن را رخنمونه می‌نامیم. در سیاره ما، رخنمونه‌ها صرفاً اندام‌هایی از بدن جانوران و گیاهان شناخته می‌شوند که ژن‌ها بر آن تأثیر دارند. رخنمونه‌ها را در مقام اهرم‌های قدرت تصور کنید که از طریق آن‌ها همتاسازهای موفق راه خود را به نسل بعدی می‌گشایند. به بیان کلی‌تر، رخنمونه‌ها را می‌توان نتایج همتاسازهایی تعریف کرد که بر موفقیت همتاسازها تأثیر می‌گذارند، ولی خودشان همتاسازی نمی‌شوند. مثلاً، یک ژن معین در گونه‌ای از حلزون‌های جزایر اقیانوس آرام تعیین می‌کند

1. phenotype

که ماریچ پوسته آن به سمت راست پیچد یا چپ. مولکول دی.ان.ای چپگرد یا راستگرد نیست، ولی نتیجهٔ رخنمونهٔ آن هست. پوسته‌های چپگرد و راستگرد ممکن است به یک اندازه در کار تأمین حفاظت خارجی بدن حلزون‌ها موفق نباشند. علت این است که ژن‌های حلزون درون پوسته‌هایی قرار دارند که ژن‌ها بر شکل آن‌ها تأثیر می‌گذارند؛ ژن‌هایی که باعث می‌شوند شماره پوسته‌های موفق، بر شماره ژن‌هایی که پوسته‌های ناموفق می‌سازند برتری یابد. پوسته‌های رخنمونه، پوسته‌های فرزند تولید نمی‌کنند. هر پوسته را دی.ان.ای می‌سازد، و این دی.ان.ای است که دی.ان.ای را تولید می‌کند.

توالی‌های دی.ان.ای از طریق زنجیره‌ای کم‌وبیش پیچیده (مانند جهت ماریچ پوسته) از رویدادهای میانی رخنمونهٔ آن‌ها را متأثر می‌کنند، که همگی تحت عنوان کلی «رویان‌شناسی» رده‌بندی می‌شوند. در سیاره ما، نخستین پیوند در این زنجیره همیشه سنتز یک ملکول پروتئین است. همهٔ جزییات مولکول پروتئین را رمز ژنتیکی مشهور، از طریق مرتب کردن چهار نوع حرف در دی.ان.ای به دقت مشخص می‌کند. اما، این جزییات به احتمال بسیار زیاد فقط اهمیت موضعی دارند. به بیان کلی‌تر، بر سیاره همتاسازهایی را خواهد داشت که پیامدهایش (رخنمونه‌هایش) بر موفقیت همتاسازها در رونویسی شدن، به هر شیوه‌ای که باشد، آثار سودمند می‌گذارند. هنگامی که از آستانه رخنمونه عبور می‌شود، همتاسازها فقط از طریق پیشکارهایشان^۱، یعنی پیامدشان در جهان، زنده می‌مانند. در سیاره ما این نتایج معمولاً منحصر به بدن‌هایی است که ژن‌ها به‌طور طبیعی در آن‌ها جایگزین می‌شوند. ولی ضرورتاً هم این‌طور

1. proxies

نیست. بنابر بینش رخنمونه گسترده (که من کتابی را به همین عنوان اختصاص داده‌ام) اهرم‌های قدرت رخنمونه که از طریق آن‌ها همتاسازها زنده‌مانی درازمدت خود را مهندسی می‌کنند، نباید به بدن «خود» همتاسازها محدود شود. ژن‌ها می‌توانند به خارج از بدن‌های معین برسند و بر جهان وسیع‌تری، از جمله بدن‌های دیگر، تأثیر بگذارند.

نمی‌دانم که آستانه رخنمونه احتمالاً چقدر جهانشمول است. ولی حدس می‌زنم که در همه آن سیاراتی که انفجار حیات از مرحله‌ای بسیار ابتدایی فراتر رفته است، از آن عبور شده است. حدس می‌زنم همین موضوع در مورد آستانه بعدی در فهرست من واقعیت دارد. این آستانه ۳، آستانه گروه همتاسازهاست، که ممکن است در برخی سیارات پیش از، یا همزمان با، آستانه رخنمونه از آن عبور کرده باشد. در روزهای نخستین همتاسازها احتمالاً موجودات خودگردان بوده‌اند که با همتاسازهای برهنه در سرچشمه‌های رودخانه ژنتیک به این سو و آن سو می‌رفتند. ولی این سیمای نظام فناوری اطلاعات دی.ان.ای / پروتئین امروزی ما در زمین است که بنابر آن هیچ ژنی نمی‌تواند در انزوا کار کند. جهان شیمیایی که در آن هر ژن کار خود را می‌کند، شیمی بی‌یاور محیط خارجی نیست. قطعاً، این جهان زمینه را فراهم می‌آورد، ولی زمینه‌ای کاملاً دوردست است. دنیای شیمیایی بی‌واسطه و بسیار ضروری که در آن وجود دی.ان.ای همانندساز قرار گرفته، ظرف غلیظ‌تری از مواد شیمیایی، یا سلول است. از یک بابت، خواندن یک سلول تحت عنوان ظرف یا کیسه شیمیایی، امری گمراه‌کننده است، زیرا بسیاری از سلول‌ها ساختمان درونی استادانه‌ای از غشاءهای چین‌خورده‌ای دارند که در آن، درون آن، و میان آن واکنش‌های حیاتی جریان دارد. این دنیای کوچک شیمیایی که سلول

است، از طریق ائتلافی از صدها – در سلول‌های پیشرفته، صدها هزار – ژن ساخته شده است. هر ژن به محیط خود کمک می‌کند، و سپس همه آن‌ها آن را به کار می‌گیرند تا زنده بمانند. ژن‌ها گروهی کار می‌کنند. ما این ماجرا را از زاویه کمی متفاوت در فصل اول مرور کردیم.

ساده‌ترین سامانه‌های رونوشت‌برداری دی.ان.ای خودگردان در سیاره ما سلول‌های باکتریایی‌اند، و آن‌ها دست‌کم به دویست ژن نیاز دارند تا ترکیباتی را که لازم دارند بسازند. سلول‌های غیرباکتری را، سلول‌های هوهسته‌ای^۱ می‌گویند. سلول‌های خود ما، و سلول‌های جانوران، گیاهان، قارچ‌ها، و تک‌یاختگان^۲ سلول‌های هوهسته‌ای‌اند. این سلول‌ها معمولاً حاوی ده‌ها یا صدها هزار ژن هستند، که همگی مانند یک گروه منسجم کار می‌کنند. همان‌طور که در فصل دوم دیدیم، اکنون محتمل به نظر می‌رسد که خود سلول‌های هوهسته‌ای به شکل تیمی از حدود شش سلول باکتریایی آغاز شدند که به همدیگر چسبیده بودند. ولی این یک کار تیمی سطح بالاست که من در این جا درباره‌اش صحبتی نمی‌کنم. من درباره این واقعیت سخن می‌گویم که همه ژن‌ها کار خود را در یک محیط شیمیایی انجام می‌دهند که با ائتلافی از ژن‌ها در درون سلول ایجاد شده است.

پس از این که نکته مربوط به کار تیمی ژن‌ها را فهمیدیم، حتماً و سوسه می‌شویم به این فرض برسیم که امروزه انتخاب داروینی از میان تیم‌های ژن رقیب‌گزیش می‌کند. فرض کنیم انتخاب به سطوح بالاتری از سازماندهی رسیده است. و سوسه کننده، اما به نظر ما عمیقاً اشتباه است. بسیار روشن‌گرانه‌تر است اگر بگوییم که انتخاب داروینی هنوز هم از میان

1. eukaryotic cells

2. protozoa

ژن‌های رقیب‌گزینش می‌کند، ولی ژن‌هایی که حمایت می‌شوند آن‌ها ایند که در حضور ژن‌های دیگری موفقیت می‌یابند همزمان در حضور یکدیگر حمایت شوند. این نکته‌ای است که در فصل اول دیدیم؛ در جایی که ژن‌هایی که در همان شاخه رودخانه دیجیتال سهیم‌اند، گرایش دارند «همدمان خوبی باشند».

شاید آستانه مهم بعدی که عرض آن باید به عنوان یک بمب رونوشت پیموده شود و تکانه را روی این سیاره گردمی‌آورد، آستانه چندسلولی است و من آن را آستانه ۴ می‌نامم. هر سلول در شکل زنده ما آن‌طور که دیدیم، دریای موضعی کوچکی از مواد شیمیایی است که در آن تیمی از ژن‌ها غوطه‌ورند. اگرچه تمامی تیم‌ها را دربردارد، اما از زیرمجموعه آن تیم تشکیل شده است. حال خود سلول‌ها با دو نیمه شدن تکثیر می‌یابند، و هرکدام دوباره به رشد کامل می‌رسند. وقتی این اتفاق می‌افتد، همه اعضای تیم ژن‌ها رونویسی می‌شوند. اگر دو سلول کاملاً از هم جدا نشوند و به هم پیوسته بمانند، عمارت بزرگی می‌تواند شکل بگیرد، و سلول‌ها در آن نقش آجرها را بازی می‌کنند. ممکن است توانایی ایجاد ساختمان‌های پرسلولی در جهان‌های دیگر به همان اهمیت جهان ما باشد. وقتی آستانه پرسلولی‌ها پیموده شد، رخنه‌ها می‌توانند پیدا شوند که شکل و کارکرد آن‌ها فقط در مقیاسی بسیار بزرگ‌تر از مقیاس تک‌سلولی‌ها درک می‌شود. یک شاخه یا یک برگ، یک عدسی چشم یا پوسته حلزون؛ جملگی شکل‌هایی‌اند که از سلول‌ها تشکیل یافته‌اند، ولی سلول‌هایی که نموداری مینیاتوری از شکل بزرگ نیستند. به بیان دیگر، اندام‌های پرسلولی مانند بلورها رشد نمی‌کنند. دست‌کم در سیاره ما آن‌ها بیشتر مانند ساختمان‌ها رشد می‌کند که به هیچ‌وجه شکل بیش‌ازحد

رشد یافته آجرها نیستند. یک دست شکل مشخصی دارد، ولی از سلول‌هایی به شکل دست درست نشده است. اگر رخنه‌ها مانند بلورها رشد می‌کردند چنین می‌بود. باز هم مانند ساختمان‌ها، اندام‌های پرسلولی، به این علت شکل و اندازه خود را دارند که لایه‌های سلول‌ها (آجرها) از قواعدی مربوط به زمان توقف رشد آن‌ها، پیروی می‌کنند. سلول‌ها نیز، به یک معنی، باید بدانند که در ارتباط با سلول‌های دیگر در کجا نشسته‌اند. رفتار سلول‌های کبدی چنان است که گویی می‌دانند سلول کبدی‌اند، و علاوه بر آن، می‌دانند که در لبه یکی از قطعات کبد قرار گرفته‌اند یا در مرکز آن. پاسخ این پرسش که چگونه چنین رفتار می‌کنند دشوار است و درباره آن بسیار مطالعه شده است. پاسخ‌ها شاید محدود به سیاره ما باشد و در این جا بیش از این به آن نمی‌پردازم. پیش از این در فصل اول به آن پرداخته‌ام. جزییات آن هرچه باشد، روش‌هایش دقیقاً از طریق همان فرآیندهای عمومی دیگر تکمیل شده است که شبیه پیشرفت‌های دیگر حیات است: زنده‌مانی غیراتفاقی ژن‌های موفق، به‌علت پیامدهایشان – که در این مورد اثر بر رفتار سلول در ارتباط با سلول‌های مجاور است.

آستانه عمده بعدی، که می‌خواهم بررسی کنم، زیرا حدس می‌زنم آن هم احتمالاً اهمیت سیاره‌ای موضعی بیشتری دارد، آستانه پردازش اطلاعات پرسرعت است. روی سیاره ما گروه ویژه‌ای از سلول‌ها به نام نورون‌ها، یا سلول‌های عصبی، به این آستانه ۵ رسیده‌اند و ما به‌طور موضعی می‌توانیم آن را آستانه **دستگاه عصبی** بنامیم. به هر ترتیبی که ممکن است روی یک سیاره رسیده باشند، اهمیت دارد، زیرا اکنون می‌توانند بر مبنای مقیاس زمانی بسیار سریع‌تر از ژن‌ها، با اهرم‌های

قدرت شیمیایی مستقیم‌شان، عمل کنند. شکارگران می‌توانند روی طعمه خود بجهند و شکار نیز می‌تواند برای نجات دادن حیاتش، به کمک دستگاه عضلانی و عصبی‌اش بگریزد که با سرعتی بسیار زیادتر از سرعت گُند جنینی کنش و واکنش کند که طی آن ژن‌ها در ابتدا این دستگاه را سرهم کرده‌اند. سرعت مطلق و زمان واکنش ممکن است در سیارات دیگر بسیار متفاوت باشد. ولی در هر سیاره‌ای، هنگامی که ابزار ساخته شده توسط همتاسازها به زمان واکنشی دست می‌یابد که چندین بار سریع‌تر از روش خود همتاسازهاست، یک آستانه مهم پیموده شده است. در این مورد که این ابزارها ضرورتاً به چیزهایی شباهت داشته باشند، و در این سیاره آن‌ها را نوروها و سلول‌های عضلانی می‌نامیم، اطمینان کمتری وجود دارد. اما در آن سیاراتی که چیزی معادل آستانه دستگاه عصبی پیموده شده است، احتمالاً نتایج مهم بیشتری در پی خواهد آمد و بمب همتاسازی به سفر بیرونی خود ادامه خواهد داد.

در میان این پیامدها ممکن است انبوهه بزرگی از واحدهای داده‌گردانی^۱ یعنی «مغزها»، یافت شوند که قادرند الگوهای پیچیده‌ای از داده‌ها را پردازش کنند که «اندام‌های حسی» آن‌ها را درک و قادرند پیشینه آن‌ها را در «حافظه» ثبت کنند. یکی از پیامدهای استادانه‌تر و رازآمیزتر عبور از آستانه نوروئی آگاهی هشیارانه است، و من آستانه ۶ را آستانه آگاهی خواهم نامید. نمی‌دانیم این جریان چندبار در سیاره ما پیش آمده است. به‌نظر برخی فیلسوفان بین آگاهی و زبان پیوند تعیین‌کننده‌ای برقرار است، که به‌نظر می‌رسد فقط یک‌بار توسط گونه انسان‌نماهای

1. data-handling

اندیشه‌ورز^۱ پیش آمده است. این‌که آگاهی به زبان نیاز دارد یا خیر، بگذارید آستانه زبان را یک آستانه عمده بشناسیم، آستانه ۷، که ممکن است در یک سیاره پیموده شود یا نشود. جزییات زبان، مانند این‌که از طریق صدا یا واسطه‌های فیزیکی دیگر انتقال می‌یابد یا خیر، باید به اهمیت موضعی مربوط شود.

زبان، از این دیدگاه، دستگاه‌های شبکه‌ای است که مغز (آن‌طور که در این سیاره نامیده می‌شود) اطلاعات را با آشنایی کامل ردوبدل می‌کند تا ایجاد یک فناوری همکارانه^۲ را ممکن کند. فناوری همکارانه، که با ایجاد ابزارهای سنگی آغاز شد و در طی اعصار به ذوب فلزات، خودروهای چرخ‌دار، نیروی بخار، و هم‌اکنون الکترونیک انجامیده است، در جای خود حاوی بسیاری از ویژگی‌های یک انفجار است، و بنابراین آغاز آن سزاوار یک عنوان است: آستانه فناوری ناهمکارانه یا آستانه ۸. در واقع، ممکن است فرهنگ انسانی یک بمب واقعاً جدید همتاسازی، با نوع جدیدی از هویت خودهمتاسازی، ایجاد کرده باشد. همان‌طور که در کتاب *ژن خودخواه* آن را *میم*^۳ نامیده‌ام، که در یک رودخانه فرهنگی تکثیر و داروینی‌سازی می‌کند. اکنون شاید یک بمب *میم* وجود داشته باشد که دارد پا می‌گیرد، موازی با بمب ژن که پیش از این شرایط مغز / فرهنگ را وضع کرده بود و شروع کار را ممکن کرد. باز باید گفت که این هم موضوع بسیار مفصلی برای این فصل است. باید به موضوع اصلی انفجار سیاره‌ای بازگردم و خاطرنشان کنم که پس از رسیدن به مرحله فناوری همکارانه، به‌احتمال زیادی در جایی در طول این مسیر نیروی تأثیرگذاری در بیرون

1. Homo sapiens

2. cooperative technology

3. meme

از سیاره اصلی برقرار شود. در این حال آستانه ۹ یا آستانه رادیویی پیموده شده است و اکنون برای ناظران فرازمینی این امکان وجود دارد که پی ببرند به تازگی یک منظومه ستاره‌ای مانند یک بمب همتاسازی منفجر شده است.

همان‌طور که دیدیم، نخستین اشاره‌ای را که ناظران فرازمینی دریافت می‌دارند، احتمالاً امواج رادیویی است، که در حکم پیامد فرعی مخابرات در درون سیاره مادر به خارج ارسال می‌شود. بعدها، وارثان فناوری بمب همتاساز شاید خود توجه آگاهانه‌شان را به خارج و ستارگان معطوف کنند. گام‌های لرزان خود ما در همان جهت شامل ارسال پیام‌هایی است که به‌خصوص درخور موجودات هوشمند فرازمینی است. چگونه می‌توانید پیام‌هایی را درخور موجودات هوشمندی فراهم آورید که درکی از ماهیت آن‌ها ندارند؟ مسلم است که کار سختی است، و امکان زیادی دارد که تلاش‌های ما اشتباه بوده است.

بیشتر توجه ما معطوف به این بوده است که ناظران فرازمینی را متقاعد کنیم اصولاً ما وجود داریم، تا این‌که برایشان پیام‌هایی با محتوایی پردامنه و مفصل گسیل داریم. این کار درست مانند همان چیزی است که پروفیسور کریکسان فرضی من در فصل اول با آن مواجه بود. او اعداد اول را به رمز دی.ان.ای وارد کرد، و یک شیوه موازی با استفاده از امواج رادیویی روش عاقلانه‌ای است که وجود خود را به جهان‌های دیگر اعلام داریم. به‌نظر می‌رسد که موسیقی تبلیغ بهتری برای گونه ما باشد، و حتی اگر شنوندگان آن فاقد گوش باشند، ممکن است به شیوه خود آن را درک کنند. دانشورز و نویسنده معروف، لوئیس توماس، پیشنهاد کرد که موسیقی باخ را پخش کنیم، همه باخ را و چیزی به جز باخ را پخش نکنیم. اگرچه او می‌ترسید که

این موضوع ممکن است به لاف زدن تعبیر شود. ولی به همین ترتیب ممکن است ذهنی فرازمینی موسیقی را نشانه‌های آهنگین یک تپ‌اختر تلقی کند. تپ‌اخترها ستارگانی‌اند که در فواصل چندثانیه‌ای یا کمتر تپ‌های آهنگین امواج رادیویی گسیل می‌کنند. در سال ۱۹۶۷ که این امواج توسط گروهی از اخترشناسان رادیویی در کمبریج کشف شدند، هیجانی زودگذر به وجود آمد، زیرا همه در این فکر بودند که ممکن است این سیگنال‌ها پیامی از فضا باشند. ولی پس از کوتاه زمانی معلوم شد که یک توضیح تنگ‌نظرانه‌تر از این قرار است که ستاره کوچکی داشت با سرعت بسیار زیادی حول محورش می‌چرخید و امواج رادیویی را مانند یک فانوس دریایی گسیل می‌کرد. تا امروز هیچ‌گونه سیگنال مخابراتی معتبر و اثبات‌شده‌ای از خارج از سیاره ما دریافت نشده است.

پس از امواج رادیویی، تنها گام بعدی که ما در پیشرفت به خارج از انفجار خودمان به تصور درآورده‌ایم، خود سفر فضایی فیزیکی است: آستانه ۱۰، آستانه مسارت فضایی است. نویسندگان افسانه‌های علمی-تخیلی تکثیر میان‌ستاره‌ای^۱ کلنی‌های انسانی یا ساخته‌های آدم مصنوعی آن‌ها را در عالم خیال توصیف کرده‌اند. این کلنی‌های فرزند را می‌توان همچون بذرها، یا عفونت‌هایی، از دسته‌های جدید اطلاعات خودهمتاساز دانست. دسته‌هایی که ممکن است بعدها خودشان، در قالب بمب‌های همتاساز ماهواره‌ها، به‌طور انفجاری دوباره به خارج گسترش یابند، و هم ژن‌ها و هم میم‌ها را بپراکنند. اگر این مورد هیچ‌گاه به حقیقت نپیوندد، شاید زیاد بی‌ارتباط نخواهد بود اگر نوعی کریستوفر

1. interstellar proliferation

مارلو^۱ ر به تصور درآوریم که به تصویرسازی رودخانه دیجیتال بازگشته باشد: «بنگرید، بنگرید در کجا سیل حیات در افلاک جاری است!». تاکنون به سختی نخستین گام را فراسوی زمین برداشته‌ایم. ما به ماه رفته‌ایم، اگرچه این دستاورد عظیمی است، ماه کدوی قلبانی^۲ نیست. اما چندان نزدیک است که، از دیدگاه موجودات فرازمینی که سرانجام ممکن است با آن‌ها ارتباط برقرار کنیم، به سختی به عنوان سفر فضایی به حساب می‌آید. ما چندین کپسول بدون سرنشین به عمق فضا فرستاده‌ایم، در مسیرهایی که پایان قابل تصویری ندارند. یکی از این‌ها، در نتیجه الهام از اخترشناس آمریکایی، کارل ساگان حاوی پیامی است که به منظور کشف رمز آن توسط هرگونه موجودات فرازمینی هوشمند طرح شده است که ممکن است به طور تصادفی با آن برخورد کنند. این پیام با تصویری از گونه‌ای موجودات که آن را خلق کرده، تصویر یک زن و مرد برهنه، تزئین یافته است.

شاید این موضوع ما را در یک مسیر دایره‌ای کامل قرار دهد و به طور کامل به افسانه‌های نیاکانی مان بازگرداند که با آن‌ها شروع کردیم. ولی این زوج آدم و حوا نیستند، و پیامی که در زیر شکل برازنده آن‌ها حک شده است در مجموع گواهی ارزشمندتر بر انفجار حیات ماست تا هر چیز دیگری از سفر پیدایش. در چیزی که چنان طراحی شده است که زبان نمادین کاملاً قابل فهمی باشد؛ این لوحه پیدایش خود را در سومین

۱. Christopher Marlowe (۱۵۶۴-۱۵۹۳). شاعر، نمایشنامه‌نویس و مترجم انگلیسی عصر الیزابت. از او به عنوان پدر نمایشنامه‌نویسی انگلستان یاد می‌کند. گفته می‌شود که حتی ویلیام شکسپیر از وی تأثیر پذیرفته است. م.

۲. اشاره به این اعتقاد قبایلی که به باور آن‌ها ماه یک کدو قلبانی است. م.

سیاره‌ای^۱ ثبت کرده است که مختصات آن در کهکشان به‌طور دقیق ثبت شده است. اعتبارنامه ما بیشتر از آن با نمایندگی اصول بنیادی شیمی و ریاضیات اثبات شده است. اگر این کپسول زمانی به دست موجودات هوشمند بیفتد، آن‌ها برای تمدنی که آن را تولید کرده است، اعتباری بیشتر از خرافات قبیله‌های ابتدایی قائل خواهند شد. در سراسر خلاء فضا، خواهند دانست که زمان درازی پیش از این، انفجار حیات دیگری وجود داشته است که به تمدنی منجر شد که ارزش گفت‌وگو با آن را دارد. دریغا، اقبال‌گذار این کپسول از یک پارسک^۲ بمب همتاساز دیگری به‌نحو نومیدانه‌ای کوچک است. برخی گزارشگران ارزش آن را برای جمعیت زمین ارزشی الهام‌دهنده می‌دانند. تندیس مرد و زنی برهنه، که دست‌هایشان به علامت صلح بالا رفته است، و عمدتاً در یک سفر فرازمینی ابدی به میان ستارگان فرستاده شده‌اند؛ اولین میوه معرفت صادراتی انفجار حیات خودمان؛ قطعاً تأمل در این زمینه ممکن است آثار سودمندی بر آگاهی معمولاً کوتاه‌بینانه و کم‌دامنه ما بگذارد. پژوهشی از اثر شاعرانه تندیس نیوتون در ترینیتی کالج، کمبریج، بر وجدان مسلماً ژرف ویلیام وردث^۳ ورد:

۱. منظور کره زمین، که سومین سیاره نزدیک به خورشید است. م.

۲. Parsec. یکی از یکاهای مسافت در ستاره‌شناسی. هر پارسک برابر است با ۳/۲۶ سال نوری یا ۳۰/۰ تریلیون کیلومتر. م.

۳. William Wordsworth (۱۷۷۰-۱۸۵۰). شاعر انگلیسی سبک رمانتیک. م.

و از روی بالش
به نور ماه و ستارگان محبوب پیش رویم می نگریم
می توانم سرسرای راکه تندیس در آن ایستاده، ببینم
تندیس نیوتن با منشور و چهره ساکتش،
انگشت مرمین یک ذهن ابدی
که به تنهایی در دریاها شگفت اندیشه سفر می کند.

سفید

کتابنامه

With a few exceptions I have limited this list to readily accessible books rather than technical works that can be found only in university libraries.

Bodmer, Walter, and Robin McKie, *The Book of Man: The Human Genome Project and the Quest to Discover Our Genetic Heritage* (New York: Scribners, 1995).

Bonner, John Tyler, *Life Cycles: Reflections of an Evolutionary Biologist* (Princeton: Princeton University Press, 1993).

Cain, Arthur J., *Animal Species and Their Evolution* (New York: Harper Torchbooks, 1960).

Cairns-Smith, A. Graham, *Seven Clues to the Origin of Life* (Cambridge: Cambridge University Press, 1985).

Cherfas, Jeremy, and John Gribbin, *The Redundant Male: Is Sex Irrelevant in the Modern World?* (New York: Pantheon, 1984).

Clarke, Arthur C., *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible* (New York: Holt, Rinehart & Winston, 1984).

Crick, Francis, *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery* (New York: Basic Books, 1988).

Cronin, Helena, *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today* (New York: Cambridge University Press, 1991).

Darwin, Charles, *The Origin of Species* (New York: Penguin, 1985).

———, *The Various Contrivances by Which Orchids are Fertilised by Insects* (London: John Murray, 1882).

- Dawkins, Richard, *The Extended Phenotype* (New York: Oxford University Press, 1989).
- , *The Blind Watchmaker* (New York: W.W. Norton, 1986).
- , *The Selfish Gene*, new ed. (New York: Oxford University Press, 1989).
- Dennett, Daniel C., *Darwin's Dangerous Idea* (New York: Simon & Schuster, 1995).
- Drexler, K. Eric, *Engines of Creation* (Garden City, N.Y.: Anchor Press/Doubleday, 1986).
- Durant, John R., ed. *Human Origins* (Oxford: Oxford University Press, 1989).
- Fabre, Jean-Henri, *Insects*, David Black, ed. (New York: Scribners, 1979).
- Fisher, Ronald A., *The Genetical Theory of Natural Selection*, 2d. rev. ed. (New York: Dover, 1958).
- Frisch, Karl von, *The Dance Language and Orientation of Bees*, Leigh E. Chadwick, trans. (Cambridge: Harvard University Press, 1967).
- Gould, James L., and Carol G. Gould, *The Honey Bee* (New York: Scientific American Library, 1988).
- Gould, Stephen J., *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History* (New York: W.W. Norton, 1989).
- Gribbin, John, and Jeremy Cherfas, *The Monkey Puzzle: Reshaping the Evolutionary Tree* (New York: Pantheon, 1982).
- Hein, Piet, with Jens Arup, *Grooks* (Garden City, N.Y.: Doubleday, 1969).
- Hippel, Arndt von, *Human Evolutionary Biology* (Anchorage: Stone Age Press, 1994).
- Humphrey, Nicholas K., *Consciousness Regained* (Oxford: Oxford University Press, 1983).
- Jones, Steve, Robert Martin, and David Pilbeam, eds., *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution* (New York: Cambridge University Press, 1992).
- Kingdon, Jonathan, *Self-made Man: Human Evolution from Eden to Extinction?* (New York: Wiley, 1993).
- Macdonald, Ken C., and Bruce P. Luyendyk, "The Crest of the East Pacific Rise," *Scientific American*, May 1981, pp. 100–116.

- Manning, Aubrey, and Marian S. Dawkins, *An Introduction to Animal Behaviour*, 4th ed. (New York: Cambridge University Press, 1992).
- Margulis, Lynn, and Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution* (New York: Simon & Schuster, 1986).
- Maynard Smith, John, *The Theory of Evolution* (Cambridge: Cambridge University Press, 1993).
- Meeuse, Bastiaan, and Sean Morris, *The Sex Life of Plants* (London: Faber & Faber, 1984).
- Monod, Jacques, *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*, Austryn Wainhouse, trans. (New York: Knopf, 1971).
- Nesse, Randolph, and George C. Williams, *Why We Get Sick: The New Theory of Darwinian Medicine* (New York: Random House, 1995).
- Nilsson, Daniel E., and Susanne Pelger, "A Pessimistic Estimate of the Time Required for an Eye to Evolve," *Proceedings of the Royal Society of London, B* (1994).
- Owen, Denis, *Camouflage and Mimicry* (Chicago: University of Chicago Press, 1982).
- Pinker, Steven, *The Language Instinct: The New Science of Language and Mind* (New York: Morrow, 1994).
- Ridley, Mark, *Evolution* (Boston: Blackwell Scientific, 1993).
- Ridley, Matt, *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature* (New York: Macmillan, 1994).
- Sagan, Carl, *Cosmos* (New York: Random House, 1980).
- , and Ann Druyan, *Shadows of Forgotten Ancestors* (New York: Random House, 1992).
- Tinbergen, Niko, *The Herring Gull's World* (New York: Harper & Row, 1960).
- , *Curious Naturalists* (London: Penguin, 1974).
- Trivers, Robert, *Social Evolution* (Menlo Park, Calif.: Benjamin-Cummings, 1985).
- Watson, James D., *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA* (New York: Atheneum, 1968).
- Weiner, Jonathan, *The Beak of the Finch: A Story of Evolution in Our Time* (New York: Knopf, 1994).

- Wickler, Wolfgang, *Mimicry in Plants and Animals*, R. D. Martin, trans. (New York: McGraw-Hill, 1968).
- Williams, George C., *Natural Selection: Domains, Levels, and Challenges* (New York: Oxford University Press, 1992).
- Wilson, Edward O., *The Diversity of Life* (Cambridge: Harvard University Press, 1992).
- Wolpert, Lewis, *The Triumph of the Embryo* (New York: Oxford University Press, 1992).

نمایه

آ	اتم‌ها، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳
آبچلیک، ۱۷۴	اثر سن، ۱۸۹
آدریان، ۱۴۹	اخترشناس رادیویی، ۲۰۹
آدنین، ۲۰۷	اخیرترین نیاکان مشترک، ۸۸
آر. ان. ای، ۲۰۷	ارکیده، ۹۴، ۹۵، ۹۶، ۱۰۰، ۱۰۳، ۱۰۴
آستانه، ۱۹۱، ۱۹۷، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۷	۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۱، ۱۲۶، ۱۳۸
۲۱۸، ۲۲۰، ۲۲۲، ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۵	ازدواج عموزادگان، ۸۷
۲۲۶، ۲۲۷، ۲۲۸	اسب، ۷۱، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱، ۸۸، ۹۶
آستانه‌ها، ۲۰۹، ۲۱۷	اسب، [، ۸۰، ۸۱
آستانه همتاساز، ۲۱۰، ۲۱۷	]]اسب، ۸۱
آغازگری، ۲۱۰	اسب‌ها، ۷۰، ۷۱، ۷۸
آفرینشگری، ۹۳، ۱۰۹	اسب‌های، ۷۱
آگاهی هشیارانه، ۲۲۵	اسید اولفیک، ۱۰۱
آمینواسیدها، ۲۰۱	اطلاعات دیجیتالی، ۳۵، ۳۹
آنالوگ، ۱۲، ۲۹، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۸	انتخاب طبیعی، ۳۴، ۳۹، ۴۹، ۵۰، ۷۱
۳۹	۷۲، ۹۵، ۱۱۲، ۱۱۴، ۱۱۶، ۱۱۹، ۱۲۰
آنزیم‌ها، ۴۵	۱۳۳، ۱۳۴، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۵۲، ۱۵۸
آنزیم‌ها در، ۴۶	۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۴، ۱۷۲، ۱۷۷، ۱۷۸
آواز خواندن، ۶۷، ۱۷۶	۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۴، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۱
	۲۱۸
ا	اندام‌ها، ۱۱، ۴۲، ۷۳، ۹۵، ۱۱۲، ۱۲۶
ایروناختر، ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۸، ۲۰۹	۱۳۹، ۱۴۶، ۱۸۱، ۱۸۲، ۲۱۶، ۲۱۸
ایزار شکننده، ۱۰۸	۲۲۳، ۲۲۵

- انسان، ۲۳، ۶۴، ۶۹، ۷۰، ۷۴، ۸۰، ۸۳، برهان اتقان صنع، ۱۴۶
 ۸۴، ۸۵، ۱۰۲، ۱۰۸، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۲۳، برهان ناباوری شخصی، ۱۰۷
 ۱۹۸ بلورها، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۱۷، ۲۲۳
 انسان اندیشه‌ورز، ۱۵۵ بلورهای تارتارات، ۲۰۲
 انسان‌نماها، ۶۰، ۲۲۵ بمب اطلاعاتی، ۱۹۶
 انفجار، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، بمب همتاساز، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۲۷، ۲۳۰
 ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۵، بمب همتاسازی، ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸
 ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۲۰، ۲۲۶، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۱۷، ۲۲۵، ۲۲۷
 ۲۳۰، ۲۳۱ به‌نژادی، ۱۸۵
 انقراض، ۱۲۶ بی‌رحمی، ۱۷۹
 اولیور گووداناف، ۲۱۲ بیماری هانتینگتون، ۱۸۷، ۱۸۸
 ایده خطرناک داروین، ۱۵۳ بینایی، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۱۷، ۱۲۲
 ایزاک آسیموف، ۲۰۰

پ

- پارسک، ۲۳۰
 پاستور، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳
 پدری و مادری، ۱۹، ۷۶
 پردازش اطلاعات، ۲۲۴
 پرندگان، ۱۶، ۱۸، ۲۴، ۶۷، ۹۸، ۱۰۰
 ۱۰۲، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۴۷، ۱۷۴، ۱۷۶
 پروانه‌ها، ۱۱۳، ۱۸۲
 پروتئین، ۷۲، ۲۱۶، ۲۱۹، ۲۲۰
 پروتئین‌ها، ۷، ۷۲
 پژواک، ۲۱۰، ۲۰۸، ۱۴۴
 پیستانداران، ۱۸، ۲۴، ۲۵، ۲۹، ۴۱، ۷۲
 ۷۹، ۱۲۶، ۱۵۶
 پلگر، ۱۲، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳
 ۱۲۴، ۱۲۵
 پیتر اتکینز، ۱۴۵

ب

- بائرنند، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۷
 باخ، ۲۲۸
 باروری، ۱۵، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۳، ۱۶۶
 باغ عدن، ۵۵، ۵۷
 بافت‌ها، ۴۱، ۴۲، ۱۲۱
 باکتری‌ها، ۱۵، ۲۸، ۴۰، ۷۴، ۷۵، ۷۷
 ۱۳۸، ۱۳۹
 ببر، ۱۰۹
 بدن، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۶، ۲۷
 ۲۹، ۳۳، ۳۷، ۳۸، ۴۰، ۴۲، ۵۰، ۵۱، ۷۴
 ۷۶، ۷۹، ۱۰۰، ۱۰۳، ۱۱۲، ۱۴۲
 ۱۴۶، ۱۵۷، ۱۶۲، ۱۷۰، ۱۸۰، ۱۸۱
 ۱۸۲، ۱۸۶، ۲۱۶، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۰
 برادران، ۱۸، ۱۶۶

پیدایش، ۱۱، ۲۱، ۵۶، ۵۷، ۸۶، ۹۳، تولیدمثل، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳۰، ۲۱۰، ۲۰۰

۱۶۵، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۸۲، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸، ۲۰۱،

۲۰۷

توماس، لوئیس، ۲۲۸

تیمین، ۲۰۸

تینبرگن، نیکو، ۹۷

ت

تاریخچه حیات، ۱۸۴

تپ، ۲۲۸

تپاختر، ۲۲۸

تصویر آینه‌وار، ۸۶

تعداد، ۱۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۸، ۳۳، ۳۴،

۳۹، ۴۰، ۴۲، ۴۳، ۴۵، ۴۸، ۵۶، ۵۸، ۶۶،

۷۰، ۷۳، ۷۸، ۸۰، ۸۲، ۸۷، ۸۸، ۸۹،

۱۱۳، ۱۲۰، ۱۳۸، ۱۵۵، ۱۵۸، ۱۵۹،

۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۵، ۱۷۱،

۱۷۲، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۸۰، ۱۹۹، ۲۰۱،

۲۰۴، ۲۱۰، ۲۱۴

تفاوت‌های فردی، ۴۸

تقسیم، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۲۶، ۳۱، ۳۹،

۴۵، ۴۶، ۶۳، ۶۹، ۷۵، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۵۴،

۱۵۹، ۲۰۲

تقلید، ۹۶، ۱۰۲، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۲،

۱۱۵

تکامل، ۱۲، ۲۷، ۲۸، ۵۴، ۵۵، ۶۳، ۷۱،

۷۲، ۷۹، ۸۱، ۸۴، ۹۳، ۹۴، ۹۵، ۹۶،

۱۰۷، ۱۱۲، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۷، ۱۱۸،

۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷،

۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۳۴، ۱۳۵،

۱۳۷، ۱۳۸، ۱۶۱، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶،

۱۹۰، ۲۱۴، ۲۱۸

تنوع، ۱۱، ۳۸، ۴۷

ج

جمعیت، ۲۰، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۳۷، ۴۰، ۵۸،

۶۱، ۶۲، ۸۶، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۵۶،

۱۵۷، ۱۵۸، ۱۶۰، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۶۵،

۱۶۶، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۳، ۱۸۶، ۱۹۲،

۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۳، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۷،

۲۱۸، ۲۳۱

جنس، ۱۵، ۶۳، ۶۶، ۶۷، ۶۸، ۶۹، ۷۳،

۷۶، ۷۷، ۸۴، ۸۶، ۸۷، ۸۹، ۱۵۸، ۱۵۹،

۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۵، ۱۶۶،

۱۷۱، ۱۷۳

جنس، ۸۷

جنسیت، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱

جنین، ۱۵، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۱۸۷،

جهش، ۶۷، ۷۲، ۷۷، ۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱،

۱۸۹، ۲۰۷، ۲۱۴

جهش‌ها، ۶۶، ۶۹، ۷۶، ۱۱۸، ۱۲۱،

۱۲۲، ۱۲۶

جهش‌های گسسته، ۳۹

جیمز ال گولد، ۱۴۹

۲۰۰، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۱۵، ۲۱۷، ۲۲۰،

چارلز داروین، ۱۱، ۵۹، ۹۵، ۱۴۲، ۱۵۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱

چشم، ۱۲، ۴۱، ۹۵، ۹۶، ۹۷، ۱۰۲،

۱۱۱، ۱۱۴، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹،

۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵،

۱۲۶، ۱۴۶، ۱۴۸، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۷۵،

۱۸۲، ۲۰۲، ۲۲۳

چکاوک، ۱۷۶

چنداثری، ۱۸۹

خ

خرس قطبی، ۴۰، ۴۱

خزانه زن، ۱۷۲

خط کش محاسبه، ۱۵۳

خواهران، ۱۸، ۱۶۶

خودرو نوشت بردار، ۲۱۷

خورشید، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۱، ۱۳۳، ۱۳۵،

۱۳۶، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱،

۱۹۵، ۱۹۷، ۲۰۹، ۲۳۰

خوک، ۷۰، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱، ۱۶۲

خوک دریایی، ۱۶۲

خیر و شر، ۱۹۳

د

داروینیس، ۱۶، ۳۸، ۳۹، ۱۳۸

دانیل دنت، ۱۲، ۱۵۳

درختان، ۶، ۲۴، ۵۵، ۵۶، ۸۰، ۸۱، ۸۲،

۸۳، ۸۴، ۱۳۲، ۱۷۷

درخت خانوادگی، ۶۹، ۷۲، ۷۳، ۷۸، ۸۱

دستگاه ژنتیک، ۳۸

دستگاه عصبی، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۱۰۰،

۱۰۱، ۱۳۶، ۲۰۸، ۲۲۴، ۲۲۵

دندان خنجری بلنی، ۱۱۰

دوران کامبرین، ۲۷

دوره زمانی، ۲۰۹

دوقلوی همسان، ۴۹، ۱۲۴

ح

حدواسط‌های تکاملی، ۹۴

حرم، ۱۵۵، ۱۵۸، ۱۶۶

حشرات، ۲۵، ۲۹، ۱۰۲، ۱۰۴، ۱۱۳،

۱۱۷، ۱۲۸، ۱۳۶، ۱۴۷، ۱۸۲

حشره، ۲۵، ۸۲، ۹۶، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۱۰،

۱۱۱، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۶، ۱۱۸، ۱۲۷،

۱۳۲، ۱۳۶، ۱۳۷، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۸۲

حشره‌خوار کوتوله، ۲۴

حشره یک‌روزه، ۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۴

حوای آفریقایی، ۵۷، ۶۵، ۶۸، ۷۳، ۸۳،

۸۵، ۹۰

حوای میتوکندریایی، ۱۱، ۷۳، ۸۴، ۸۶،

۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰

حیات، ۱۱، ۱۴، ۲۰، ۲۸، ۳۵، ۳۶، ۳۷،

۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۸، ۵۶، ۵۷، ۹۰، ۱۰۸،

۱۰۹، ۱۳۲، ۱۳۸، ۱۴۶، ۱۵۲، ۱۵۷،

۱۶۹، ۱۸۰، ۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵،

۱۸۷، ۱۸۸، ۱۹۰، ۱۹۳، ۱۹۷، ۱۹۸،

t.me/AVAYeBUF

۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۳۴،	۴۸، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۷، ۱۰۱، ۱۲۱، ۲۲۱،
۱۳۵، ۱۳۷، ۱۴۲، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹،	۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۵،
۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹،	سلولهای عصبی، ۳۳
۱۷۱، ۱۷۵،	سلولهای عصبی، ۳۴، ۴۱، ۲۲۴
زنده‌مانی، ۲۰، ۳۸، ۵۰، ۵۱، ۷۲، ۱۱۴،	سلولهای هو هسته‌ای، ۷۴، ۲۲۱، ۲۲۲
۱۲۵، ۱۷۶، ۱۷۷، ۱۸۲، ۱۸۴، ۱۹۰،	سنباب‌ها، ۲۲، ۳۲
۱۹۱، ۲۲۰، ۲۲۴،	سوسک‌ها، ۱۳۶
زیباگان کامبرین، ۲۸	سوگیری، ۱۶۱، ۱۶۶، ۱۷۰
زیبایی، ۴۹	سیاه خروس، ۱۷۵
زیبایی، ۱۱، ۲۸، ۷۶، ۹۳، ۱۵۸، ۱۷۴،	سیتوزین، ۲۰۸
۱۷۵، ۱۷۶، ۱۸۲،	سیتوکروم c، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۸
زیست‌شناسی مولکولی، ۲۸، ۳۵، ۶۵	
زیستگرایی، ۳۵	

ش

شاه‌انگبین، ۱۶۸، ۱۷۰،	
شدت، ۱۲۵، ۱۳۹، ۲۱۸،	
شکستن استخوان، ۱۸۰،	
شیمی، ۴۵، ۴۹، ۱۳۸، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۱۵،	
۲۲۱، ۲۳۰،	
ژن خودخواه، ۱۶۷، ۱۷۸، ۲۲۶،	
ژن‌ها در، ۲۱، ۲۲، ۶۰، ۱۸۷، ۲۲۲، ۲۲۴،	
ژن‌های تغییردهنده، ۱۸۸،	

ژ

ص

صخره مرجانی، ۱۹۸،	ساختار، ۲۹، ۳۴، ۳۵، ۴۳، ۷۳، ۲۰۲،
صیادان صدف خوراکی، ۹۸،	ساگان، کارل، ۲۲۹،
	ستارگان، ۱۲۶، ۱۳۶، ۱۹۵، ۱۹۷، ۱۹۹،

ض

ضرب تغییرات، ۱۲۵،	۲۰۸، ۲۰۹، ۲۲۷، ۲۳۱،
	سحابی خرچنگ، ۱۹۶،
	سعادت، ۶۲، ۱۵۴، ۱۵۵،

ط

طاووس، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۸۲،	سفر فضایی، ۲۲۸، ۲۲۹،
طاووس نر، ۱۸۲،	سلول جنسی، ۶۸،
	سلول‌ها، ۱۹، ۳۷، ۴۱، ۴۲، ۴۵، ۴۶، ۴۷،

- طبیعت، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۹۵، ۱۳۸، ۱۴۳، ق
 ۱۵۷، ۱۸۵، ۱۹۱، ۱۹۳، ۲۰۷، ۲۱۵ قالب‌ها، ۲۰۶، ۲۱۶
 طول عمر، ۱۶۹، ۱۸۴، ۱۸۵ قطبیت، ۴۵
 قلابچه ماهی، ۱۱۰
- ع
 عموزادگان، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۸۳، ۸۷
 عموزادگی، ۶۶، ۶۹
- ک
 کارتلند، ۱۶۹
 کاکایی، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰
 کامپیوتر، ۷، ۳۵، ۴۴، ۴۵، ۷۸، ۸۰، ۸۲، ۱۰۴، ۱۱۶، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲
 کتاب ضبط گینس، ۸۸
 کرم پيله ساز، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۸۲، ۱۹۱
 کروموزوم‌ها، ۳۷، ۶۸
 کشنده، ۳۵، ۱۸۸
 کُمالگی، ۴۷
 کمالگی، ۴۷
 کودکان، ۶۱، ۱۱۳، ۱۵۹، ۱۷۳، ۱۸۶، ۱۲۵، ۱۲۷، ۱۳۰، ۱۳۴، ۱۳۵، ۱۴۹، ۲۱۱، ۱۹۲
 کیرن- اسمیث، ۲۱۷
 کیفیت اندام‌ها، ۱۸۱
- گ
 گاتری، وودی، ۱۸۷
 گوانین، ۲۰۸
 گول زدن، ۹۶، ۱۰۸
 گونه‌سازی، ۲۱، ۲۵
 گونه‌ها، ۱۱، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۷، ۴۶، ۵۱، ۶۵، ۶۸، ۶۹، ۸۵، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۵۷
 ۱۵۸، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۹۲
 ۱۰۳، ۱۰۵، ۱۴۳
 فاخته، ۱۱۰، ۱۷۵
 فاصله، ۲۲، ۲۳، ۲۷، ۳۰، ۳۶، ۵۵، ۵۶، ۶۱، ۷۹، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۸، ۱۲۳
 ۱۵۲، ۱۵۴، ۱۹۸، ۲۰۹
 فرانسیس کریک، ۳۴
 فرضیه ساعت مولکولی، ۶۹
 فریب، ۱۱۰
 فعال شدن، ۴۶، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۹۰
 فناوری همکارانه، ۲۲۶
 فوتوسل، ۱۲۱
 فون فریش، ۱۰۲، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹
 ۱۳۳، ۱۳۷، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۲، ۱۵۱
 فیلیپ، دوک ادینبورو، ۱۴۵

موجودات زنده، ۲۹، ۳۸، ۱۲۳، ۱۴۶،	۲۰۰
۱۴۷، ۱۵۵، ۱۵۷، ۱۸۰	
مورچگان، ۱۳۶	م
موریانه، ۱۷، ۱۸، ۱۶۶	مارگلیس، لین، ۷۴
موسیقی، ۲۰۰، ۲۲۸	مارلو، کریستوفر، ۲۲۹
موش کور زیرزمینی، ۲۴	ماهی آبنوس، ۹۷، ۹۸
موفقیت، ۱۷، ۵۱، ۶۹، ۹۴، ۱۵۹، ۱۷۲،	ماهی آزاد، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۹۰
۱۸۲، ۲۰۰، ۲۰۳، ۲۱۲، ۲۱۵، ۲۱۸،	ماهی‌ها، ۱۶، ۶۳، ۶۴، ۹۷، ۹۸، ۱۱۰،
۲۱۹، ۲۲۲	۱۲۳، ۱۳۹، ۱۶۶، ۱۷۵، ۱۸۴، ۱۸۶
مولا اسماعیل خونخوار، ۸۸، ۸۹	مخمرها، ۷۰، ۷۱، ۷۸، ۷۹، ۸۰
مولکول‌های آنزیم، ۴۳	مداور، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۰
مونسین، ۲۰۵	مداور، پیتر، ۱۸۶
مهبانگ، ۲۰۸	مدل، ۶۰، ۱۰۰، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵،
مهره‌داران، ۲۵، ۲۶، ۷۰، ۱۱۹	۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۷۹،
مهندسی معکوس، ۱۵۳، ۱۵۴، ۱۵۵،	۱۸۰
۱۵۶، ۱۵۷	مذهب، ۵۶، ۵۷، ۹۵، ۲۱۲
میتوکلندریا، ۷۷	مرغ بهشت، ۱۷۵
میتوکلندیایی، ۷۵، ۷۸، ۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶،	مرگ، ۴۷، ۵۰، ۱۵۶، ۱۶۴، ۱۶۶، ۱۷۶،
میزان، ۶۰، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۱۳۰، ۱۳۱،	۱۸۵، ۱۸۶، ۱۹۱، ۱۹۲، ۲۱۳
۱۳۴، ۱۳۵، ۱۶۴، ۱۷۲	مرگ‌ومیر، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۸۶
میمون درازدست، ۲۴	مش، رابرت، ۹۹
میمون عنکبوتی، ۱۸۱	مصرف، ۱۶، ۴۹، ۷۳، ۷۴، ۱۰۷، ۱۳۸،
میمون‌ها، ۱۶، ۲۴، ۷۰، ۱۸۰	۱۵۸، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۷۱، ۱۷۶، ۱۸۱،
مینارد اسمیت، جان، ۱۶۱	۱۹۰
مؤنث، ۷۶، ۷۷، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۷،	مک‌گاوین، جورج، ۱۱۳
۱۶۱، ۱۶۴	میم، ۲۲۶
	منابع، ۱۵۸، ۱۶۴، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۸۴،
ن	۱۸۵، ۱۸۶، ۱۹۰، ۲۱۱، ۲۱۸
نامه‌های زنجیره‌ای، ۲۱۵	موتو کیمورا، ۷۱

- نخ کمری، ۱۰۴
نر، ۱۸، ۹۷، ۹۸، ۱۰۲، ۱۱۰، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹
نیای کانونی، ۸۹
نیلسون، ۱۲، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۵
نسبت جنس، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۱
نسبت جنسی، ۱۶۲
نسبت ماتیس، ۱۲۳
نسبت‌های جنس، ۱۶۷، ۱۷۱
نسبیت‌گرای فرهنگی، ۵۵
نسل‌ها، ۷، ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۳۸، ۳۹، ۴۰
۵۰، ۱۰۰، ۱۱۸، ۱۶۰، ۱۸۸، ۱۹۱، ۲۱۸
نظریه ۱۲۱۷
نظریه، ۵۷، ۷۰، ۷۲، ۷۴، ۷۵، ۷۹، ۸۵
۹۳، ۱۳۳، ۱۳۷، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۷
۱۷۳، ۱۸۲، ۱۸۶، ۱۸۸
نظریه پیدایش، ۷۵
نور، ۳۳، ۱۰۲، ۱۱۴، ۱۱۶، ۱۱۸، ۱۲۱
۱۲۸، ۱۳۶، ۱۳۷، ۱۳۹، ۱۴۸، ۱۷۵
۱۷۷، ۱۹۶، ۲۰۳، ۲۰۸، ۲۳۱
نورون‌ها، ۲۲۴، ۲۲۵
نوکلئیک اسید، ۲۰۷
نیاکان، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۲، ۲۳
۲۵، ۴۶، ۵۵، ۵۷، ۵۸، ۶۰، ۶۲، ۶۳، ۶۵
۶۸، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۷، ۷۸، ۷۹
۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۱۳۲
۱۴۷
نیاکان و زادگان، ۶۰
نیای کانونی، ۸۹
نیلسون، ۱۲، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۵
نسبت جنس، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۱
نسبت جنسی، ۱۶۲
نسبت ماتیس، ۱۲۳
نسبت‌های جنس، ۱۶۷، ۱۷۱
نسبیت‌گرای فرهنگی، ۵۵
نسل‌ها، ۷، ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۳۸، ۳۹، ۴۰
۵۰، ۱۰۰، ۱۱۸، ۱۶۰، ۱۸۸، ۱۹۱، ۲۱۸
نظریه ۱۲۱۷
نظریه، ۵۷، ۷۰، ۷۲، ۷۴، ۷۵، ۷۹، ۸۵
۹۳، ۱۳۳، ۱۳۷، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۷
۱۷۳، ۱۸۲، ۱۸۶، ۱۸۸
هافستادر، دوگلاس، ۱۰۴
هامفری، نیکلاس، ۱۷۸
هامیلتون، ودی، ۱۶۷
هجوم، ۹۷، ۱۳۱، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۷۰
۱۷۱
هدف، ۹۵، ۱۱۱، ۱۴۳، ۱۴۴
همان‌گویی، ۲۱۵
همتاسازها، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۵، ۲۱۸
۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۵
همتاسازهای دیرینه، ۲۱۷
همتاسازی، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱۹۷، ۱۹۸

هیوم، دیوید، ۱۱	۱۹۹، ۲۰۲، ۲۱۶، ۲۱۸، ۲۲۶
	هنری فورد، ۱۷۸، ۱۸۰، ۱۸۳، ۱۸۴
ی	هوسمان، ا. ای.، ۱۹۳
یوزپلنگ، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۷۵	هین، پیت، ۱۰