ریچارد داوکینز

ساعت‌ساز نابینا

چرا شواهد تکامل، جهانی بدون طراحی را آشکار می کند

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

ریچارد داوکینز

ساعت‌ساز نابینا

ترجمه‌ی دکتر محمود بهزاد - شهلا باقری

با مقدمه‌ی جدید

انتشارات مازیار

سرشناسه: داوکینز، ریچارد، ۱۹۴۱ – م
Dawkins, Richard
عنوان و نام پدیدآور: ساعت‌ساز نابینا / ریچارد داوکینز: ترجمه محمود بهزاد، شهلا باقری
مشخصات نشر: تهران: مازیار، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری: ****
شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۶۷۶-۷۵-۷
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
یادداشت: عنوان اصلی: The blind watchmaker: why the evolution reveals a univers without design, 1996
موضوع: تکامل (زیست‌شناسی)
موضوع: انتخاب طبیعی
شناسه افزوده: بهزاد، محمود، – ۱۳۸۷-۱۲۹۲، مترجم
شناسه افزوده: باقری، شهلا، مترجم
رده‌بندی کنگره: QH ۲/۳۶۶/د۲س ۲ ۱۳۸۸
رده‌بندی دیویی: ۵۷۶/۸۲
شماره کتابشناسی ملی: ۱۶۹۰۰۸۳

انتشارات مازیار

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۴۳۰، طبقه‌ی اول، واحد ٤، تلفن ٦٦٤٦٢٤٢١

ساعت‌ساز نابینا
ریچارد داوکینز
ترجمه‌ی دکتر محمود بهزاد – شهلا باقری
چاپ دوم ۱۳۸۹
شمارگان ۱۲۰۰
حروف‌نگا زهرا پارسا
لیتوگرافی: کاری گرافیک
چاپ طیف نگار
شابک ۷-۷۵-٥٦٧٦-٩٦٤-٩٧٨
حقوق مادی این اثر متعلق به انتشارات مازیار است
بها ۷۰۰۰ تومان

«ریچارد داوکینز تکامل را به‌روز کرده است...
موضوع کتابش معنی حیات است»

تایمز

اوج کار ریچارد داوکینز است، شرح تکامل پرتناقض است با شور و تحسین تأثیرگذارترین اثر در این زمینه در یک‌صد سال اخیر اعلام شد. به وضوح آشکار می‌کند چگونه کشف داروین، یعنی فرایند ناخودآگاه، خودبه‌خودی، بی‌هدف اما اساساً غیرتصادفیِ انتخاب طبیعی تنها پاسخ این پُراهمیت‌ترین سؤال است که: ما از کجا آمده‌ایم؟ چگونه چنین که هستیم شده‌ایم؟ آیا نقشه‌ی اولیه‌ای در کار است؟ از نظر داوکینز، ساعت‌ساز نابینا خودِ طبیعت است که به تدریج از بنیادی‌ترین و مهم‌ترین جزء همه چیز، از DNA، صورت و سامان یافته است.

«ظرافت طبع و نکته‌سنجیِ مسحور کننده... شادی‌آور و قابل درک برای خواننده‌ی غیراهل علم»

آبزرور

«نگارش خوب، بحث منسجم و همه جانبه ... یک کتاب دوست‌داشتنی»

اکونومیست

«یکی از بهترین‌های علمی - یکی از بهترین‌ها از نوع خودش - که من تاکنون خوانده‌ام»

لوس آنجلس تایمز

فهرست مطالب

درباره‌ی نویسنده ۱۱

مقدمه چاپ ۲۰۰۶ ..... ۱۵

پیشگفتار ۲۱

فصل ۱:

توضیح بسیار نامحتمل‌ها ۲۹

فصل ۲:

طرح خوب ۵۳

فصل ۳:

انباشته شدن تغییرات کوچک ۸۳

فصل ۴:

ردیابی فواصل حیوانی ۱۲۷

فصل ۵:

قدرت و سوابق ۱۷۵

فصل ۶:

منشاءها و معجزه‌ها ۲۱۵

فصل ۷:

تکامل سازنده..... ۲۵۵

فصل ۸:

انفجارها و مارپیچ‌ها..... ۲۹۳

فصل ۹:

نگاهی دیگر به نقطه‌باوری..... ۳۳۳

فصل ۱۰:

یگانه درختِ واقعی حیات..... ۳۷۹

فصل ۱۱:

رقیبان محکوم..... ۴۲۵

کتاب‌شناسی..... ۴۷۳

تقدیم به پدر و مادرم

داوکینز

[باتوجه به جلوگیری از انتشار و جمع‌آوری کتابِ پیشِ روی شما از سطح کتاب‌فروشی‌ها بر آن شدیم تا نسخه‌ی الکترونیک این اثر را آماده و منتشر کنیم. از آن‌جایی که این کتاب ترجمه‌ی محمود بهزاد و شهلا باقری است پیشنهاد می‌کنیم برای حمایت از مترجمان، از دیگر آثار ایشان بازدید و در صورت تمایل نسخه‌ای از آن‌ها را تهیه نمائید.

در این نسخه سعی ما بر آن بوده است تا قسمت‌هایی از متن که به واسطه‌ی ممیزی، سانسور شده به متن اضافه کرده و همچنین اشکلات تایپی را برطرف نمائیم. همچنین در پاره‌ای از مواقع، جملاتی که به صورت نامفهوم ترجمه شده‌اند را با کمی جابه‌جایی رساتر نموده‌ایم. [براکت]هایی که در متن کتاب اکترونیکی قرار گرفته‌اند به منظور نشان دادن همین موارد اضافه شده‌اند. این قسمت‌ها در نسخه‌ی چاپی وجود ندارند و مخصوص نسخه‌ی الکترونیک می‌باشند.

کتاب الکترونیک حاضر در دو نسخه‌ی B5 و SmallScreens آماده شده که B5 مناسب صفحات بزرگ (از ۹ اینچ به بالا) و SmallScreens مناسب صفحات کوچک من‌جمله موبایل و یا کتاب‌خوان‌ها است (نسخه‌ای که در حال مطالعه‌ی آن هستید B5 می‌باشد).

با توجه به محدود بودن افراد و زمان تایپ و آماده‌سازی این کتاب، مطمئناً نسخه‌های ابتدایی آن خالی از اِشکال نخواهد بود، ولی تمام سعی ما بر این است تا در آینده مشکلات آن را برطرف نمائیم و در اختیار شما قرار دهیم. به شما پیشنهاد می‌شود قبل از مطالعه‌ی ادامه‌ی این کتاب بر روی این لینک (bit.ly/TheBlindWatchmaker)[1] کلیک نمائید و آخرین نسخه‌ی الکترونیک

[1] لینک به بزرگی و کوچکی حروف حساس است و چنانچه آن را به صورت دستی وارد مرورگر

کتاب را دریافت کنید (زیرا ممکن است کتاب پیشِ روی شما به‌روز رسانی شده باشد). این لینکِ یکتا حاوی فایل فشرده (ZIP) از آخرین نسخه‌ی الکترونیک کتاب با فرمت PDF و اندازه‌های B5 و SmallScreens می‌باشد که مشکلات احتمالی آن به مرور برطرف و همواره به‌روز می‌گردد. (ممکن است در آینده کتاب با اندازه‌ی A4، مناسب برای چاپ هم به این مجموعه اضافه شود که از طریق همان لینک در داخل فایل ZIP در دسترس خواهد بود). به یاد داشته باشید این فایل ZIP فقط و فقط حاوی دو یا سه فایل PDF خواهد بود.

شما همچنین می‌توانید مشکلات (از جمله مشکلات تایپی و یا قسمت‌های حذف شده نسبت به نسخه‌ی زبان اصلی) را از طریق این ایمیل eman.alef@inbox.com به ما اطلاع دهید تا در به‌روز رسانی‌های آینده‌ی کتاب، آن‌ها را برطرف نمائیم.

چنانچه برای دریافت آخرین نسخه‌ی کتاب مشکل دارید (به‌واسطه‌ی لینک شکسته یا فایل خراب) می‌توانید ما را از طریق آدرس ایمیل فوق با خبر نمائید. به محض دریافت ایمیلِ شما، آخرین نسخه‌ی کتاب برای شما ارسال خواهد شد.

نسخه‌ی اول الکترونیک
اسفندماه نود و دو
ایمان ا.]

خود می‌کنید بایستی به این مورد توجه داشته باشید. آدرس اصلیِ لینکِ کوتاه شده:
https://dl.dropboxusercontent.com/u/258000962/Richard_Dawkins/The_Blind_Watchmaker.zip

درباره‌ی نویسنده

ریچارد داوکینز در سال ۱۹۴۱ در نایروبی متولد شد. وی در دانشگاه آکسفورد تحصیل کرد و پس از فارغ‌التحصیلی در همانجا روی رساله دکتری خود با نیکو تین‌برگن، رفتارشناس برنده‌ی جایزه‌ی نوبل، مشغول به کار شد. از سال ۱۹۶۷ تا ۱۹۶۹ استادیار جانورشناسی دانشگاه کالیفرنیا در *برکلی* بود. در سال ۱۹۷۰ مدرس جانورشناسی در دانشگاه آکسفورد و عضو نیوکالج شد. در سال ۱۹۵۵ در دانشگاه آکسفورد به عنوان نخستین «استاد چارلز سیمونی» در «علم برای همه» شناخته شد.

نخستین کتاب او *ژن خودخواه* (۱۹۷۶، چاپ دوم، ۱۹۸۹) بلافاصله یکی از پرفروش‌ترین کتاب‌ها در جهان و به همه‌ی زبان‌های مهم ترجمه شد[۱]. دنباله‌ی آن، *فنوتیپ گسترش یافته* در سال ۱۹۸۲ منتشر شد. دیگر کتاب‌های پرفروش او عبارتند از: *ساعت‌ساز نابینا* (۱۹۸۶؛ پنگوئن، ۱۹۸۸)، *رودخانه بیرون از بهشت* (۱۹۹۵)، *بالا رفتن از کوه نامحتمل‌ها* (۱۹۹۶؛ پنگوئن، ۱۹۹۷)، *بازکردن بافت رنگین کمان* (پنگوئن، ۱۹۹۹) و *حکایت اجداد ما* (۲۰۰۴).

---

۱ [برای دانلود ترجمه‌ی فارسی کتاب *ژن خودخواه* به این آدرس مراجعه کنید:]
https://dl.dropboxusercontent.com/u/258000962/Richard_Dawkins/The_Selfish_Gene.zip

ریچارد داوکینز به خاطر نوشتن ساعت‌ساز نابینا جایزه انجمن سلطنتی ادبیات و جایزه ادبی لس‌آنجلس تایمز را در سال ۱۹۸۷ از آنِ خود کرد. فیلم تلویزیونی این کتاب که در مجموعه افق (هورایزن) نشان داده شد، به عنوان بهترین برنامه‌ی علمی سال ۱۹۸۷ برنده‌ی جایزه‌ی علم-فناوری (سای-تک) شد. وی همچنین در سال ۱۹۸۹ برنده‌ی مدال نقره انجمن جانورشناسی لندن و در ۱۹۹۰ برنده جایزه‌ی انجمن سلطنتی مایکل فارادی به خاطر بالا بردن درک عموم از علم شد. در سال ۱۹۹۴ برنده جایزه ناکایاما برای علوم مربوط به انسان و در ۱۹۹۵ موفق به دریافت دکترای افتخاری ادبیات از دانشگاه سنت آندرو و دانشگاه ملی کانبرا شد. در سال ۱۹۹۷ به عضویت انجمن سلطنتی ادبیات برگزیده شد و جایزه بین‌المللی کازموس (کیهان) را به دست آورد.

توضیح:

فصل ۱ تا فصل ۷ را زنده‌یاد دکتر محمود بهزاد با همکاری شهلا باقری ترجمه کرده‌اند که بعد از درگذشت استاد بهزاد، از فصل ۸ تا آخر را خانم شهلا باقری ترجمه و دکتر محمدرضا غفاری ویراستاری کرده‌اند. و ناشر خود نیز در تمام موارد فنی و غیرفنی کتاب سهمی به عهده داشته است.

ناشر

مقدمه چاپ ۲۰۰۶

از من خواسته‌اند برای چاپ مجدد کتاب ساعت‌ساز نابینا مقدمه‌ی جدیدی بنویسم. فکر کردم کار آسانی است. فقط باید صورتی از موارد اصلاح کتاب را – که یقیناً کم نبود – جمع‌آوری می‌کردم، مواردی که اگر قرار بود امروز دوباره این کتاب را بنویسم، باید آن‌ها را تغییر می‌دادم. مشتاقانه چشمم فصل به فصل به دنبال اشتباهات، مطالب نامفهوم، مطالب تاریخ گذشته و ناقص گشت. واقعاً می‌خواستم پیدای‌شان کنم، چرا که علم – کاستی تک‌تک پویندگان راهش هرچه باشد – طبیعتاً سهل‌انگار نیست و با سرهم‌بندی به آرمان پیشرفت رشوه زبانی نمی‌دهد. اما افسوس که به جز چند مورد جزئی، نتوانستم هیچ مطلب عمده‌ای در این فصل‌ها پیدا کنم که بشود دور انداخت. چیزی نیافتم که رهایی آرام‌بخش یک ندامت واقعی را موجه جلوه دهد.

البته منظور این نیست که برای گفتن، چیزی نمانده است. می‌توانم ده فصل کاملاً جدید به موضوع همیشه جالب طرح‌های تکاملی اضافه کنم. ولی آن می‌شود یک کتاب دیگر. حالا که به آن فکر می‌کنم می‌بینم نام‌اش *بالا رفتن از کوه نامحتمل‌ها* (پنگوئن، ۱۹۹۶) است. گرچه هریک از این دو، کتاب‌های جداگانه‌ای هستند و

می‌توان آن‌ها را جدا از هم مطالعه کرد، ولی می‌توان هر یک را ادامه‌ی آن دیگری نیز در نظر گرفت. هر کتاب موضوع خاص خود را دارد. همان‌طور که همه‌ی فصل‌های این کتاب با هم تفاوت دارند ولی موضوع اصلیِ همه، یک چیز است، داروینیسم و طرح و تدبیر.

اگر بگویم برای این ادامه دادن به داروین‌گرایی عذر می‌خواهم، شکسته‌نفسی کرده‌ام. داروینیسم موضوع بسیار گسترده‌ای است که جنبه‌های مختلف آن را می‌شود در کتاب‌های متعددی شرح داد؛ کتاب‌هایی بیش‌تر از آن‌که بشود در طول یک عمر کارِ رضایت‌بخش تمام‌شان کرد. به علاوه، من نویسنده‌ی حرفه‌ای کتاب‌های علمی نیستم که بعد از پرداختن به تکامل سراغ مثلاً فیزیک یا نجوم بروم. چرا باید چنین کاری بکنم؟ قاعدتاً یک تاریخ‌نگار به جای این‌که بعد از نوشتن یک کتابِ تاریخ به ادبیات یا ریاضی رو کند، درباره‌ی تاریخ کتاب دیگری می‌نویسد. استاد آشپزی ترجیح می‌دهد، درباره‌ی موضوع‌های مختلف آشپزی کتاب‌های متعدد بنویسد به این دلیلِ موجه که بهتر است موضوع باغبانی را به استاد باغبان سپرد. با در نظر گرفتن فضای نسبی قفسه‌ها که کتاب‌های مربوط به هر یک از این عنوان‌ها در کتابفروشی‌ها اشغال می‌کند، داروینیسم موضع گسترده‌تری از آشپزی و باغبانی است. موضوعی است که من انتخاب کرده‌ام و آن آن‌قدر پر دامنه است که یک عمر کار تخصصی را بطلبد.

داروینیسم شامل همه‌ی چیزهای زنده می‌شود – آدم، حیوان، گیاه، باکتری و – اگر در فصل آخر با من موافق باشید – حتی موجودات فرازمینی. تنها، این نظریه است که می‌تواند به‌طور قانع‌کننده‌ای علت وجود ما را و علت این‌که چرا به این صورتیم که هستیم، توضیح دهد.

داروینیسم سنگ زیربنای همه‌ی رشته‌هایی است که دانش‌های انسانی نامیده می‌شوند. منظور این نیست که تاریخ و نقد ادبی و حقوق، همه را باید در قالب

داروینیسم ریخت. منظور چیز دیگری است، چیزی کاملاً غیر از این. همه‌ی آثار انسان‌ها حاصل کار مغز هستند، مغز ابزار تکامل یافته‌ای برای پردازش اطلاعات است و اگر این اصلِ مهم را از یاد ببریم، درک درستی از کارِ آن نخواهیم داشت. اگر تعداد بیش‌تری از پزشکان داروینیسم را درک می‌کردند، بشریت امروز با بحران مقاومت در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها روبرو نبود. همان‌طور که منتقدی اظهار نظر کرده است: تکامل داروینی ژرف‌ترین حقیقت درباره‌ی طبیعت است که تا کنون علم کشف کرده است و من اضافه می‌کنم: و ممکن است کشف کند.

در این بیست سالی که ساعت‌ساز نابینا منتشر شده، کتاب‌های دیگری انتشار یافته‌اند که من دلم می‌خواست آن‌ها را نوشته باشم و اگر قرار بود این کتاب را دوباره بنویسم حتماً از آن‌ها استفاده می‌کردم. کتاب شیوای *هلنا کروتین*[۱] با نام *مورچه و طاووس*[۲] و کتاب *ملکه سرخ*[۳] نوشته‌ی *مت ریدلی*[۴] که به همان اندازه رساست یقیناً بر هر بازنویسی فصلی که درباره‌ی انتخاب جنسی است تأثیر می‌گذاشتند. *نظر خطرناک داروین*[۵] اثر *دانیل دنت*[۶] به همه‌ی تفسیرهای تاریخی و فلسفی من رنگ و جلای دیگری می‌بخشید و صراحت و شجاعت او فصل‌های انتقادی کتاب مرا قوی‌تر می‌ساخت. کتاب معتبر *مارک ریدلی*[۷] با نام *تکامل*[۸] یک مرجع آموزشی همیشه قابل استفاده برای من و خوانندگانم است. اگر *استیون پینکر*[۹]

---

۱ Helena Cronin

۲ The Ant and the Peacock

۳ The Red Queen

۴ Matt Ridley

۵ Darwin's Dangerous Idea

۶ Daniel Dennett

۷ Mark Ridley

۸ Evolution

۹ Steven Pinker

کتاب *غریزه زبان*[۱] را این‌قدر جالب ننوشته بود، شاید وسوسه می‌شدم به موضوع زبان هم از دیدگاه تکامل سری بزنم. و همچنین *طب دارویی* که کاری بی‌نظیر از *راندولف نسه*[۲] و *جورج ویلیامز*[۳] درباره‌ی این موضوع است (البته بنا به خواسته ناشر، خودسرانه و بی‌مسما عنوان کتاب به *چرا بیمار می‌شویم* تغییر کرد).

هنوز هستند کسانی که تکامل را انکار می‌کنند و نشانه‌های ناخوشایند نفوذ رو به افزایش آنان، لااقل در برخی حوزه‌ها در ایالات متحده، مشاهده می‌شود. آن‌طور که این واپس‌گرایان اظهار می‌کنند، محور صحبت‌شان موضوع «طرح و تدبیر» است – که اتفاقاً بحث اصلی کتاب ساعت‌ساز نابینا هم همان است. اهداف کتاب من بالاتر از پاسخ‌گویی به این بحث‌هاست، با این حال هرکس که گرایشی به بحث آنان داشته باشد، رد آن‌ها را – به نظر تمام‌شان – را در این‌جا خواهد یافت.

مُروّجان مخالفت با تکامل، ضمن تظاهر به مدارج علمی، همیشه انگیزه‌های [مذهبی] دارند، گرچه گاهی با کتمان آن سعی می‌کنند خود را معتبر جلوه دهند. در بیش‌تر موارد باطناً می‌دانند باید به چه چیز ایمان داشته باشند، چون پدر و مادرهاشان یک کتاب قدیمی را به آن‌ها توصیه کرده‌اند که می‌گوید چه باوری داشته باشند. اگر در بزرگسالی شواهد علمی چیز دیگری به آن‌ها بگوید، حتماً اشکال از شواهد علمی است. چون همه روش‌های تابش‌سنجی (رادیو متری) برای تعیین قدمت زمین تأیید می‌کنند که سن زمین هزاران میلیون سال است، یقیناً اشکال در روش‌های این سنجش است. کتاب مقدس دوران کودکی که نمی‌تواند و نباید غلط باشد.

اما هنوز جای امید هست. وقتی کتاب *ساعت‌ساز نابینا* نخستین بار در آمریکا منتشر شد، *نورتون* (ناشر) مرا به یک سفر کشورگَردی کوتاه مدت فرستاد و به چند

---

۱ The Language Instinct

۲ Randolph Nesse

۳ George Williams

برنامه رادیویی دعوت شدم که در آن‌ها مردم از طریق تلفن تماس می‌گرفتند و سوال‌های‌شان را می‌پرسیدند. به من هشدار داده بودند که آمادگی پرسش‌های غیردوستانه‌ی بعضی از شنوندگان بنیادگرا را داشته باشم و راستش را بگویم قصد داشتم استدلال‌های‌شان را بکوبم. ولی آن‌چه عملاً پیش آمد بهتر از تصور من بود. شنوندگانی که تماس می‌گرفتند واقعاً به موضوع تکامل علاقه داشتند. خصومتی در میان نبود، ولی چیزی درباره موضوع نمی‌دانستند. به جای کوبیدن استدلال‌ها، بیش‌تر کارم آگاهی دادن به آن‌ها شد. آگاه کردن آن‌ها از توانی که داروینیسم در توضیح قابل قبولی در مورد حیات دارد، بیش‌تر از چند دقیقه طول نمی‌کشید. به نظرم می‌رسید تنها دلیل این‌که چرا قبلاً متوجه این موضوع نشده‌اند این است که این بحث را از کتاب‌های مدرسه‌ها حذف کرده‌اند. غیر از مطالب نامفهومی درباره‌ی «میمون‌ها» هیچ چیز دیگر از داروینیسم نمی‌دانستند.

به من در مورد دانشجویی گوشزد کرده بودند که از طریق نوعی گزینش در بخش جانورشناسی دانشگاه آکسفورد پذیرفته شده بود. او که در یک دانشکده‌ی کوچک بنیادگرا در ایالات متحده درس خوانده بود، جوان ساده‌ی آفرینش‌باوری از آب درآمده بود. وقتی به آکسفورد آمد، تشویق شد که در کلاس‌های بحث تکامل حاضر شود. در پایان دوره پیش سخنران (که از قضا من بودم) آمد و با وجد حاکی از کشف چیزی گفت: آفرین تکامل! این شد حرف حساب. واقعاً حرف حساب است. روی تی‌شرتی که یک خواننده ناشناس کتابم لطف کرده و برایم فرستاده نوشته شده است: «تکامل – بزرگ‌ترین نمایش روی زمین – تنها بازی در شهر!»

ریچارد داوکینز

آکسفورد، ژوئن ۲۰۰۶

پیشگفتار

کتاب حاضر با این اعتقاد نگاشته شده که مسئله‌ی وجودِ خودِ ما که زمانی بزرگ‌ترین معما به نظر می‌رسید، اکنون دیگر معما نیست چرا که پاسخ آن را یافته‌ایم. *داروین* و *والاس* این راز را گشوده‌اند، گرچه ما نیز هنوز، هر از گاهی، پانویسی به راه‌حل آن‌ها می‌افزاییم. من دست به کار نوشتن این کتاب شدم زیرا شمار زیاد کسانی که از راه‌حل دقیق و روشن این پیچیده‌ترین مسأله بی‌خبر بودند مرا به حیرت می‌انداخت و عجیب‌تر آن‌که چه بسا کسان اصلاً از صورت مسئله بی‌خبر بودند.

موضوع، مرتبط به ساخت‌های پیچیده است. کامپیوتری که من با آن این واژه‌ها را می‌نویسم گنجایش ذخیره اطلاعاتش حدود ۶۴ کیلوبایت است (هر بایت ظرفیت نگهداری یک حرف یا یک نشانه است). این کامپیوتر را آگاهانه طراحی کرده و به منظوری ساخته‌اند. مغزی که شما با آن واژه‌های مرا درک می‌کنید، مجموعه‌ای است که چند ده میلیون کیلو[۱] سلول عصبی[۲] را شامل می‌شود. بسیاری از این میلیاردها

[۱] منظور از کیلو (kilo) عدد هزار است.

[۲] kiloneurones

سلول عصبی هر کدام با بیش از هزار سیم الکترونیکی به سلول‌های عصبی دیگر وصل شده‌اند. علاوه بر این، در سطح ژنتیک مولکولی، هر یک دانه از این بیش از هزار میلیارد سلول بدن، حدود هزار برابر آن اطلاعاتی را که به صورت بسیار دقیق به شکل رقم در کامپیوتری رمزگذاری شده‌اند را شامل می‌شود. پیچیدگی موجودات زنده، بی‌تناسب با هماهنگیِ ظریفِ طرحِ ظاهرِ آن‌ها نیست. چنانچه موافق باشید که چنین طرح‌های پیچیده‌ای توضیح لازم ندارند من دست از کار می‌کِشم. اما نه، پس از لحظه‌ای تأمل آن را رها نمی‌کنم، زیرا یکی از هدف‌های من در این کتاب این است که چشم‌هایی را که هنوز از شگفتیِ پیچیدگی‌های زیست‌شناختی گشاد نشده‌اند با این شگفتی‌ها آشنا کنم. اما دیگر هدف اصلی‌ام، پس از نمایش این معما، گشودن گره‌ی آن، با شرح کلید آن است.

توضیح دادن هنر آسانی نیست. می‌شود چیزی را طوری توضیح داد که خواننده کلمات شما را بفهمد و می‌شود همان را طوری توضیح داد که خواننده آن را تا مغز استخوانش حس کند. برای توضیح دادن به روش دوم فقط بی‌طرفانه شواهد را مقابل خواننده قرار دادن کافی نیست. آدم باید هم به موضوع ارادت داشته باشد و هم روش اهل ارادت را پیش بگیرد. این کتاب یک رساله‌ی علمی بی‌طرف نیست. کتاب‌های دیگری که درباره‌ی داروینیسم نوشته شده‌اند بی‌طرف‌اند و بسیاری از آن‌ها با کیفیت و آموزنده‌اند و بهتر است در کنار این کتاب مطالعه شوند. این کتاب نه‌تنها بی‌طرف نیست بلکه بعضی از قسمت‌های آن با چنان شور و شوقی نوشته شده که ممکن است اظهارنظرهایی را که در خور مجله‌های علمی حرفه‌ای است به دنبال داشته باشد. به یقین، غرض انتقال اطلاعات است، با این حال، پای تشویق و حتی ترغیب نیز در میان است – می‌شد فقط اهداف را، بدون هیچ پیش اشاره‌ی دیگری، مشخص کرد. قصد من این است خواننده به وجود خود همچون معمایی ترس‌آور و پُر هیبت نگاه کند و در عین حال به او القاء شود این معما با تمام هول و هیجان‌اش کلید ظریفی دارد که دستیابی به آن در توان ما هست. علاوه بر این، می‌خواهم

خواننده بپذیرد نه‌تنها نگرش داروینی به جهان، نگرشِ درستی است بلکه تنها نظریه‌ای است که می‌تواند پرده از راز وجود ما بردارد. بنابراین اقناع‌کنندگی مضاعفی دارد. می‌شود استدلال کرد داروینیسم نه فقط در سیاره ما که در هر جای جهان که نشانی از حیات یافت شود، می‌تواند صادق باشد.

در یک مورد می‌خواهم حسابم را از هواداران حرفه‌ای جدا کنم. وکیل یا سیاست‌پیشه پول می‌گیرد تا از موکل یا ماجرایی که احتمالاً آن را باور ندارد دفاع کند. من هرگز چنین کاری نکرده و نخواهم کرد. معلوم نیست که کار من همیشه درست باشد اما برای من حقیقت واقعاً مهم است و هرگز چیزی را که مطمئن نباشم صحیح است نخواهم گفت. یادم هست از دیدن انجمن مناظره در یک دانشگاه شوکه شدم. طرفِ بحث، آفرینش‌باوران بودند. هنگام ناهار، بعد از مناظره، کنار خانم جوانی نشسته بودم که خیلی محکم و مستدل به نفع آفرینش‌باوری صحبت کرده بود. پیدا بود که آفرینش‌باور نیست. به این دلیل که از او خواهش کردم صادقانه به من بگوید چرا چنین کرده بود. او خیلی راحت گفت فقط می‌خواست قدرت مناظره‌اش را بالا ببرد و احساس می‌کند اگر از موضعی که آن را باور ندارد طرفداری کند، کار پُرچالش‌تری را به انجام رسانده است. ظاهراً معمول است در انجمن‌های مناظره‌ی دانشگاه‌ها به سخنرانان بگویند از کدام طرف حمایت کنند. باورِ خودِ سخنران نقشی ندارد. من از راهی طولانی آمده بودم، که وظیفه‌ی ناخوشایند سخنرانی برای جمع را انجام دهم، زیرا به درستیِ نظری که از من خواسته بودند مطرح کنم ایمان داشتم. وقتی متوجه شدم اعضای آن انجمن از نظرها برای بازی‌های مناظره‌ای استفاده می‌کنند، تصمیم گرفتم از پذیرفتن دعوت‌های آتی انجمن‌های مناظره، که ریاکارانه طرفداری از موضوعاتِ علمیِ در معرضِ خطر را تشویق می‌کنند، خودداری کنم.

بنابه دلایلی که خیلی برایم روشن نیست، احساس می‌کنم داروینیسم بیش از حقایقی که در دیگر شاخه‌های علم، به طریق مشابه، پا گرفته‌اند نیاز به حمایت دارد. بسیاری از ما درکی از کوانتوم یا نظریه نسبیت خاص یا عام انیشتین نداریم اما تنها

این باعث نمی‌شود که با این نظریه‌ها مخالف باشیم! به نظر می‌رسد داروینیسم، بر خلاف «اینشتینیسم» بازی جالبی است برای اظهار نظرکنندگانِ برخوردار از درجات مختلف نادانی. تصور من این است یک مشکل داروینیسم، همان‌طور که جک *موناد*[۱] هوشمندانه به آن اشاره کرده این باشد که همه فکر می‌کنند آن را درک می‌کنند. درواقع نظریه‌ی بسیار ساده‌ای است؛ در مقایسه با تقریباً همه نظریه‌های فیزیک و ریاضی اصلاً از سادگی، کودکانه به نظر می‌رسد. اصل مطلب آن، این موضوع است که تکثیر متوالی – در جایی که تنوع ارثی وجود دارد – نتایجی به بار می‌آورد که اگر برای انباشتن آن‌ها، زمان در اختیار باشد، بسیار پردامنه خواهند بود. دلایل کافی وجود دارد که این نظریه‌ی ساده، گمراه‌کننده نیز هست. هرگز از نظر دور ندارید که این نظریه گرچه ساده می‌نماید، ولی تا زمان *داروین* و *والاس* در اواسط قرن نوزده یعنی تقریباً ۳۰۰ سال بعد از پرینکیپیای *نیوتون* و بیش از دو هزار سال بعد از اندازه گرفتن دور زمین توسط *اراتوستنس*[۲]، به ذهن هیچ‌کس خطور نکرده بود. چطور است که چنین موضوع ساده‌ای، زمانی این‌چنین طولانی از نظر متفکرانی هوشمند نظیر *نیوتن*، *گالیله*، *دکارت*، *لایب‌نیتس*، *هیوم* و *ارسطو* پنهان بماند؟ چرا باید منتظر این دو طبیعت‌گرای دوره‌ی ویکتوریا می‌شد؟ چه اِشکالی در فیلسوف‌ها و ریاضی‌دان‌ها بود که به آن پی نبردند؟ و چگونه است که چنین موضوع پراهمیتی هنوز چنان‌که باید جذب اذهان عموم نشده است؟

گویا ذهن بشر مخصوصاً طوری ساخته شده که داروینیسم را درک نکند و باور آن برایش مشکل باشد. مثلاً، موضوع «شانس» را که اغلب به صورت شانسِ اتفاقی[۳] به آن اشاره می‌شود، در نظر بگیرید. غالب کسانی که با حرارت زیادی به داروینیسم حمله می‌کنند، این تصور اشتباه را دارند که در آن غیر از شانسِ اتفاقی چیز دیگری

---

۱ Jacques Monod

۲ Eratosthenes، ستاره‌شناس یونانی در قرن سوم پیش از میلاد.

۳ Blind chance

نقش ندارد. از آن‌جا که پیچیدگیِ هماهنگِ موجود زنده، خود دقیقاً تجسمی از نقیض شانس است، اگر بر این تصور باشیم که داروینیسم در حکم شانس است، پیداست رد کردن آن کاری سهل است! یکی از اهداف من، از بین بردن این حرف بی‌پایه و پرطرفدار است که داروینیسم نظریه‌ی شانس است. علت دیگری که ظاهراً برای آمادگی ما از قبل برای رد داروینیسم وجود دارد به ساختار ذهن ما مربوط می‌شود که بیش‌تر آمادگی برخورد با رویدادهایی را دارد که با زمان‌های مربوط به تغییرات تکاملی از نظر مقیاس زمانی کاملاً متفاوت‌اند. ما آماده‌ایم فرایندهایی را که در چند ثانیه، دقیقه، سال یا حداکثر چند دهه صورت می‌گیرند پردازش کنیم. داروینیسم نظریه فرایندهای انباشتی بسیار کُندی است که بین هزاران تا میلیون‌ها دهه طول می‌کشند. این عظمت چندین و چند برابری تمام شم داوری ما را درباره‌ی چیزهای محتمل به هم می‌ریزد. این تفاوت سرسام‌آور، ابزار دقیق شک‌ورزی و احتمال‌سنجی درونی ما را از کار می‌اندازد، زیرا این ابزار – از قضا توسط خود تکامل – طوری تنظیم شده‌اند که طول عمرهای چند دهه‌ای کارایی دارند. تخیل باید از توان بالایی برخوردار باشد تا بتواند از بندِ مقیاس‌های زمانیِ آشنا رها شود. سعی من این است در این راستا در خدمت شما باشم.

مورد سومی که در آن به نظر می‌رسد ذهن ما پیشاپیش آماده‌ی مقاومت در برابر داروینیسم است، به کارآمدی ما در طراحیِ خلاق مربوط می‌شود. جهان ما در سیطره‌ی شاهکارهای مهندسی و آثار هنری است. ما کاملاً به این تصور ذهنی خو کرده‌ایم که در هر چیز پیچیده‌ی خوش‌ساختی، نشانی از یک برنامه‌ریزی استادانه‌ی پیشین بجوئیم. شاید همین، عمده‌ترین دلیل باورِ اکثر مردمی که تا کنون زیسته‌اند به وجود نوعی قدرت فوق طبیعی باشد. توان خیزش تخیل *داروین* و *والاس* این امکان را به آنان داد، علی‌رغم شم ذهنی خود، به ساخت‌های پیچیده، نگاه دیگری داشته باشند، نگرشی که وقتی به کُنه آن پی ببرید، توجیه بسیار قابل پذیرش‌تری برای تبدیل سادگی نخستین به پیچیدگی‌هاست، چنان خیزش ذهنی بزرگی‌ست، که تا

امروز، بسیار کسان توان همپایی با آن را نداشته‌اند. هدف اصلی این کتاب کمک به خواننده در برداشتن این خیز است.

طبیعی است که نویسنده‌ها آرزو دارند تأثیر کتاب‌شان ماندگار باشد نه گذرا. ولی طرفدار هر نظریه‌ای، علاوه بر بیان بخش‌های ماندگار قضیه، باید در مقابل نقطه‌نظرهای مخالف، یا مخالف‌نما، جوابگو نیز باشد. بعضی از این بحث‌ها هر قدر امروز بالا بگیرند، احتمالاً در دهه‌های آتی بسیار کهنه جلوه می‌کنند. این تناقض که چاپ نخست کتاب *اصل انواع*[۱] از چاپ ششم آن، بهتر حقانیت خود را اثبات کرده اغلب قابل توجه بوده است. دلیل این است که *داروین* در چاپ‌های بعدی لازم می‌دید به انتقادهای هم‌عصران خود از چاپ نخست، پاسخ دهد. این انتقادها اکنون به‌قدری تاریخ گذشته‌اند که واکنش نسبت به آن‌ها چیزی جز تلف کردن وقت و حتی به بیراهه رفتن نیست. با این وجود، میل ندیده گرفتن انتقادهای روز، که جنجالی و زودگذر به نظر می‌رسند، میلی است که نباید چندان به آن میدان داد، به حکم ادب، نه فقط نسبت به انتقادکنندگان، بلکه نسبت به خوانندگان آن‌ها، چرا که ممکن است دچار سردرگمی شوند. گرچه من در مورد این‌که کدام فصل‌های کتابم سرانجام گذرا خواهند بود نظرِ خاصِ خودم را دارم اما در این مورد، خواننده – و زمان – است که باید قضاوت کند.

نگرانم بعضی از خانم‌های آشنا (که خوشبختانه تعدادشان زیاد نیست) استفاده از ضمیر مذکرِ غیرشخصی را به این حساب بگذارند که خواسته‌ام آن‌ها را ندیده بگیرم. اگر قرار بود چیزی ندیده گرفته شود (که شادمانه چنین قراری در بین نیست)، فکر می‌کنم من اول آقایان را کنار می‌گذاشتم، گرچه یک بار وقتی موقتاً خواستم به خواننده‌ای که در ذهن داشتم به صورت «she» اشاره کنم، یکی از هوادران حقوق زنان در خصوصِ این بذلِ توجه، به من تذکر داد: باید بگویم «she – یا – he» و «

[۱] The Origin of Species، منشاء انواع هم گفته می‌شود.

her – یا – his».[۱] اگر به کلماتی که به کار می‌بریم زیاد اهمیت ندهیم، کار راحت‌تر است ولی، در آن صورت شایستگی داشتن هیچ یک از دو جنس را نخواهیم داشت. من در این‌جا روش معمول کاربرد ضمیر در انگلیسی را پی گرفته‌ام. گرچه برای اشاره به خواننده از ضمیر he استفاده می‌کنم ولی خواننده‌ام را فقط همان‌قدر مذکر در نظر می‌گیرم که یک فرانسه زبان میزش را مؤنث در نظر می‌گیرد. حقیقت این است که من بیش‌تر اوقات خواننده‌ام را یک خانم می‌پندارم، اما این یک چیز شخصی است و خوش ندارم چنین ملاحظاتی استفاده‌ی من از زبان را تحت تأثیر قرار دهد.

بعضی از دلایل من برای سپاسگزاری نیز شخصی است. کسانی که نمی‌توانم در موردشان حق را به جا بیاورم این را درک می‌کنند. ناشرانم دلیلی برای پنهان داشتن هویت داوران از من ندیدند (در مورد نقدنویس‌ها چنین نبود. نقدنویس‌های واقعی، که اغلب آمریکایی زیر چهل سال را مثل هم می‌کند، فقط پس از انتشار کتاب نظرشان را بیان می‌کنند، وقتی‌که دیگر از دست نویسنده کاری بر نمی‌آید). از پیشنهادهای *جان کربس* (و همچنین) *جان دورانت*، *گراهام کایرنس – اسمیت*، *جفری لوینتن*، *مایکل روس*، *آنتونی هالم* و *دیوید پی* بسیار بهره بردم. لطف *ریچارد گریکوری* شامل نقد فصل دوازده شد و، در نسخه‌ی نهایی، این فصل به کلی حذف شد. *مارک ریدلی* و *الن گرافن* که دیگر، به‌طور رسمی، دانشجوی من نیستند به اتفاق *بیل همیلتون* از ارزشمندترین همکاران گروهی هستند که با ایشان درباره‌ی تکامل، تبادل نظر دارم و تقریباً هر روز از نظرهاشان بهره‌مند می‌شوم. *پاملا ولز* و *پیتر اتکینز* و *جان داوکینز* صمیمانه در مورد فصل‌های مختلف اظهار نظر کردند. *سارا بونی* اصلاحات زیادی انجام داد و *جان گریبین* اشکال بزرگی را رفع کرد. *الن گرافن* و *ویل اتکینز* در مورد کار با کامپیوتر توصیه‌هایی داشتند، و سندیکای اپل مکینتاش در بخش جانورشناسی لطف کرد و برای کشیدن بیومورف‌ها چاپگر لیزری را در

[۱] خوشبختانه در زبان فارسی این مشکل وجود ندارد. در فارسی ضمیر سوم شخص مفرد «او» برای مذکر و مؤنث یکسان است.

اختیارم قرار داد.

بار دیگر از پویایی پایان نیافتنی *مایکل راجرز* که همه‌ی موانع و مشکلات را از میان برمی‌دارد، برخوردار شدم؛ او اکنون در انتشارات لانگمن است. او و *مری کانن* از انتشارات نورتون، ماهرانه نقش افزایش‌دهنده (روحیات من) و کاهش دهنده (شوخ‌طبعی من) را هرجا که لازم بود ایفا کرده‌اند. بخشی از این کتاب را طی یک فرصتِ مطالعاتی که بخش جانورشناسی نیوکالج لطف کرد و در اختیارم قرار داد نوشته‌ام. سرانجام نوبت – دِینی که باید در هر دو کتاب قبلی‌ام هم از آن یادم می‌کردم – نظام آموزشی آکسفورد و دانشجویان جانورشناسی است که طی این سال‌ها همواره یاورم بوده‌اند تا این مختصر مهارتی که در هنرِ مشکلِ توضیح دادن کسب کرده‌ام، به کار گرفته شود.

ریچارد داوکینز

آکسفورد، ۱۹۸۶

فصل ۱

توضیح بسیار نامحتمل‌ها

ما حیوانات در جهان شناخته شده، پیچیده‌ترین چیزها هستیم. البته جهانی که ما می‌شناسیم بخش بسیار کوچکی از جهان واقعی است. شاید در سیارات دیگر موجودات پیچیده‌تر از ما وجود داشته باشند و شاید بعضی از آن‌ها از وجود ما مطلع باشند. در هر صورت، نظر من این است که چیزهای پیچیده، هر جا که باشند، به توصیف خاصی نیاز دارند. ما می‌خواهیم بدانیم چیزهای پیچیده چطور به وجود آمده‌اند و چرا این‌قدر پیچیده‌اند. چنان‌که خواهیم دید، توجیه چیزهای پیچیده شامل همه‌ی چیزهای بغرنج مثل ما انسان‌ها، شمپانزه، کرم خاکی، درخت بلوط و موجودات فضایی کرات دیگر می‌شود ولی در مورد چیزهایی مثل سنگ، ابر، رودخانه، کهکشان و کوارک[۱] صادق نیست. من این چیزها را ساده می‌نامم. بررسی این‌ها به فیزیک مربوط است. سگ و میمون و خفاش و سوسک و آدم و گُل قاصدک و باکتری و موجودی که از کهکشان‌ها بیایند به زیست‌شناسی مربوط می‌شوند.

تفاوت، یک پیچیدگی طرح است. زیست‌شناسی بررسی چیزهای پیچیده‌ای است که به نظر می‌رسد برای هدف خاصی طراحی شده‌اند. فیزیک بررسی چیزهای

---

۱ Quarks، ذرات بنیادی.

ساده‌ای است که به نظر نمی‌رسد برای هدف خاصی به وجود آمده باشند. در نگاه اول بعضی از ساخته‌های انسان مثل کامپیوتر و اتومبیل از موارد استثناء به نظر می‌رسند، زیرا هم پیچیده‌اند و هم به منظور خاصی ساخته شده‌اند ولی جاندار نیستند و به جای گوشت و خون از پلاستیک و فلز ساخته شده‌اند. ولی در این کتاب، کامپیوتر و اتومبیل در ردیف چیزهای مربوط به زیست‌شناسی قرار می‌گیرند.

ممکن است خواننده بپرسد: آیا «ماشین و کامپیوتر» واقعاً چیزهای زیست‌شناختی‌اند؟ در جواب می‌گویم کلمات در خدمت ما هستند نه حاکم بر ما. ما هر طور دلمان بخواهد می‌توانیم از آن‌ها استفاده کنیم. در بیش‌ترِ کتاب‌های آشپزی، خرچنگ را در ردیف ماهی‌ها می‌آورند. جانورشناسان ممکن است این تقسیم‌بندی را قبول نداشته باشند و بگویند عادلانه‌تر این است که خرچنگ‌ها، آدم‌ها را در ردیف ماهی‌ها قرار بدهند چون شباهت ماهی با آدم خیلی بیش‌تر از شباهت ماهی با خرچنگ است. حالا که صحبت از خرچنگ و عدالت شد بد نیست بدانید که اخیراً در دادگاهی باید تصمیم گرفته می‌شد که خرچنگ را باید جزء حیوانات به حساب آورد یا جزء حشرات (مسئله این بود که آیا آدم‌ها حق دارند خرچنگ را زنده‌زنده آب‌پز کنند؟). از دیدگاه جانورشناسی مسلم است که خرچنگ حشره نیست و حیوان است. ولی ما آدم‌ها و حشرات هم جزء حیوانات هستیم. پس می‌بینید مرز کلمات خیلی مشخص نیست و مردم به صورت‌های مختلف از آن‌ها استفاده می‌کنند (من در زندگی غیرحرفه‌ای‌ام کاملاً آماده‌ام با آن‌هایی که خرچنگ را زنده‌زنده می‌پزند طرف شوم). آشپزها و وکیل‌ها هر کدام با توجه به نیازشان کلمات موجود را با معنی خاصی به کار می‌برند. من هم در این کتاب همین کار را می‌کنم. مهم نیست که کامپیوتر و اتومبیل واقعاً چیزهای مربوط به زیست‌شناسی باشند یا نه، مهم این است که در ساختمان آن‌ها آنقدر پیچیدگی وجود دارد که اگر در کره‌ای یافت شوند، می‌شود نتیجه گرفت که در آن‌جا موجودات زنده وجود دارند یا قبلاً وجود داشته‌اند. همان‌طور که پیدا شدن سنگواره، اسکلت و جسد نشانه‌ی وجود زندگی است، ماشین

هم حاصل کار موجود زنده و نشانه‌ی آشکار وجود زندگی است.

من گفتم کار فیزیک بررسی اشیای ساده است، این هم در ابتدا ممکن است غیرعادی به نظر بیاید. فیزیک ظاهراً موضوع پیچیده‌ای است زیرا درک مفاهیم آن برای ما آسان نیست. ذهن ما طوری ساخته شده که دنبال چیزی گشتن و گرد آوردن و جفت گرفتن و بچه بزرگ کردن را درک می‌کند. آن هم در جهانی با ابعاد متوسط که چیزها با سرعت متعادل در حرکت باشند ولی ما در درک اندازه‌های خیلی کوچک و خیلی بزرگ مشکل داریم. درک چیزهایی که مدت انجام آن‌ها هزارم‌های ثانیه یا میلیون‌ها سال باشد، ذره‌هایی که جای خاصی ندارند، نیروها و میدان‌های غیرقابل رویت یا غیرقابل لمس که فقط از روی اثرشان شناخته می‌شوند، برای ما مشکل است. به نظر ما فیزیک بغرنج است چون فهم آن سخت است و کتاب فیزیک پُر از ریاضی است. ولی آن چیزهایی که در فیزیک بررسی می‌شوند، چیزهای ساده‌اند. یا حجمی از گازند یا ذراتی ریز، یا تکه‌ای از یک ماده‌ی همگن مانند بلور که یک الگوی اتمی، بی‌نهایت بار در آن‌ها تکرار می‌شود. چیزهایی این‌چنین، لااقل با معیار زیست‌شناسان، ساختار پیچیده ندارند. حتی اجسام بزرگ جثه مانند ستاره‌ها هم از اجزای محدودی تشکیل شده‌اند که کم و بیش به‌طور تصادفی کنار هم قرار گرفته‌اند. رفتار اشیای مربوط به فیزیک، یعنی اشیای غیرزیست‌شناختی آنقدر ساده است که می‌شود آن را با زبان ریاضی بیان کرد و به همین دلیل کتاب فیزیک پُر از ریاضی است.

کتاب فیزیک ممکن است بغرنج باشد ولی مثل ماشین و کامپیوتر به وسیله یک چیز زیست‌شناختی – مغز انسان – ساخته شده است. اشیاء و پدیده‌هایی که در کتاب فیزیک مورد بررسی قرار می‌گیرند هر کدام ساده‌تر از هر سلول بدن نویسنده‌ی آن کتاب‌اند. بدن نویسنده شامل تریلیون‌ها سلول است که بسیاری از آن‌ها با هم تفاوت دارند و به صورت دقیق و بغرنجی تنظیم و هماهنگ شده‌اند که در مجموع چنان دستگاهِ دقیقی ساخته‌اند که می‌تواند کتاب بنویسد. ذهن ما در درک

پیچیدگی‌های بسیار بالا هم، مثل درک اندازه‌های بسیار بزرگ و بی‌نهایت‌های دیگر در فیزیک، کم می‌آورد. تا به حال هیچ‌کس راهی برای بیان کل ساختار و رفتار چیزی که فیزیک‌دان نامیده می‌شود کشف نکرده است. نه حتی برای یک سلول او. آن‌چه در توان ماست این است که سعی کنیم از بعضی اصولِ کلیِ ساز و کارِ موجودات زنده سر درآوریم و ببینیم اصلاً چطور به وجود آمده‌اند.

ما از این‌جا شروع کردیم که می‌خواستیم بدانیم چرا ما و دیگر موجودات زنده به وجود آمده‌ایم. حالا، گرچه هنوز خیلی دقیق از ساز و کار اجزای بدن آگاه نیستیم، می‌توانیم یک پاسخ نه خیلی دقیق به این سؤال بدهیم. به عنوان مقایسه، به‌طور مثال همه‌ی ما از طرز کار هواپیما بی‌اطلاعیم. احتمالاً سازنده‌های آن هم همه چیز را نمی‌دانند. متخصص موتور از جزییات کار بال‌ها سر در نمی‌آورد و متخصص بال هم تصور غیرشفاهی از جزییات موتور دارد. تازه متخصص بال هم همه‌ی محاسبات مربوط به بال را نمی‌داند. او با بررسی ماکت و نمونه‌ها در تونل هوا یا شبیه‌سازی در کامپیوتر می‌تواند رفتار بال هواپیما را در شرایط جوی نامساعد پیش‌بینی کند. این از همان نوع کاری است که زیست‌شناس برای بررسی یک حیوان انجام می‌دهد. البته هرقدر هم که اطلاعات ما از طرز کار هواپیما ناقص باشد، همه می‌دانیم که طی چه مراحل اصلی ساخته شده است. ابتدا چند نفر آن را طراحی کرده‌اند. سپس افراد دیگری قطعاتی را از روی آن طرح‌ها ساخته‌اند و بعد عده بیش‌تری (با کمک دستگاه‌های ساخت بشر) قطعات آن را به صورت مناسب به هم پیچ و یا پرچ کرده، جوش داده و یا چسبانده‌اند. فرایند ساخت هواپیما، از نظر ما اسرار آمیز نیست زیرا انسان آن را ساخته است. کنار هم قرار دادن قطعاتی که به منظور خاصی ساخته می‌شوند، برای ما قابل درک است، چون این کار را، حداقل در دوران کودکی با آجرهای خانه‌سازی، تجربه کرده‌ایم.

اما بدن ما چطور؟ هر کدام از ما یک دستگاهیم، مثل هواپیما ولی خیلی پیچیده‌تر. آیا بدن ما هم ابتدا روی یک صفحه طراحی شده، بعد یک مهندس ماهر

قطعات آن را به هم وصل کرده است؟ جواب منفی است، حدود یک قرن است که به این جواب دور از انتظار رسیده‌ایم. زمانی که *چارلز داروین* برای نخستین بار این موضوع را بیان کرد، خیلی‌ها نمی‌خواستند یا نمی‌توانستند آن را درک کنند. راستش خود من هم وقتی اولین بار در بچگی این نظریه را شنیدم باور نکردم. در سراسر طول تاریخ تا نیمه اول قرن نوزدهم تقریباً همه، عکسِ آن – فرضیه‌ی آفریدگار دانا – را قبول داشتند. بسیاری از مردم هنوز هم همین‌طور فکر می‌کنند؛ شاید علتش این باشد که در برنامه‌های آموزشی و درسی هنوز توصیف دقیقی از نظریه‌ی داروین درباره‌ی توجیه وجود ما انسان‌ها ارایه نمی‌شود و بی‌شک در خیلی از موارد سوء تعبیرهایی وجود دارد.

واژه‌ی «ساعت‌ساز نابینا» را که در عنوان کتاب آمده از نوشته یک متخصص معروف الاهیات در قرن هیجده، به نام *ویلیام پالی* گرفته‌ام. کتاب او با نام *شناخت خدا از طبیعت – یا شواهد وجود و اثبات خداوند در عناصر طبیعت* که در سال ۱۸۰۲ منتشر شده، یکی از معروف‌ترین و اثرگذارترین منابعی است که در بحث‌های اثبات وجود خداوند از طریق توجه به طبیعت استفاده می‌شود. من این کتاب را تحسین می‌کنم به این دلیل که نویسنده‌ی آن، در زمان خودش، موفق شد، آن کاری را انجام دهد که من حالا سعی دارم انجام دهم. او چیزی برای گفتن داشت و از هیچ کوششی برای بیانِ باورِ خود فروگذار نکرد. او در مقابل پیچیدگی و عظمت جهانِ زنده سر تعظیم فرود می‌آورد و احساس می‌کرد لازم است به زبانی خاص آن را توصیف کند. تنها اشتباه او – که واقعاً اشتباهی بزرگ بود – در چگونگی این توصیف بود. پاسخ او به این معما همان پاسخ سنتی [مذهب] بود ولی با زبان واضح‌تر و متقاعد کننده‌تری بیان شده بود. توضیحِ صحیح، چیزی دیگر بود، که جهان باید تا زمان یکی از انقلابی‌ترین متفکران جهان، یعنی *چارلز داروین* در انتظار می‌ماند.

پالی کتاب *شناخت خدا از طبیعت* را با این قطعه‌ی معروف شروع می‌کند:

> در عبور از یک دشت، با پایم به سنگی می‌زنم و در پاسخ به این سؤال که این سنگ از کجا آمده، ممکن است بگویم تا آن‌جا که من می‌دانم همیشه همین‌جا بوده و شاید اثبات بی‌ربط بودن چنین جوابی خیلی هم ساده نباشد. ولی فرض کنید من یک ساعت روی زمین پیدا کنم، در پاسخ به این سؤال که از کجا آمده، دیگر بعید است بگویم تا آن‌جا که می‌دانم همیشه همان‌جا بوده است.

پالی به تمایز بین اشیای طبیعت مثل سنگ و اشیایی که طراحی و ساخته شده‌اند، مثل ساعت، توجه می‌کند و در ادامه به بیان دقت و ظرافتی که در ساخت و به کار انداختن فنرها و دنده‌های درون ساعت می‌پردازد و می‌گوید اگر ما در دشتی ساعتی پیدا کنیم، حتی اگر ندانیم که از کجا آمده، پیچیدگی و ظرافت ساخت آن ما را به این نتیجه می‌رساند:

> که این ساعت باید سازنده‌ای داشته باشد. زمانی، در جایی، سازنده یا سازندگانی وجود داشته‌اند و به منظور خاصی آن را ساخته‌اند. کسانی که از ساز و کار آن آگاه بودند و برای استفاده از آن نقشه‌ای در سر داشتند.

گرچه پالی تأکید می‌کند که کسی نمی‌تواند با این نتیجه‌گیری منطقی مخالف باشد با وجود این، در عمل این همان چیزی است که یه آتئیست[۱] هم وقتی در مورد طبیعت تأمل می‌کند، ممکن است بر زبان آورد:

> هر نشانه ابتکار، هر نمودی از نقشه که در ساعت وجود دارد، در طبیعت نیز هست؛ فقط با این تفاوت که در طبیعت همه چیز بزرگ‌تر و بیش‌تر است تا آن حد که فراتر از هر نوع محاسبه است.

پالی این موضوع را با توصیفی احترام‌آمیز و دلنشین نسبت به اجزای ماشینِ حیات به پایان می‌رساند. او از چشم انسان، مثال مناسبی که *داروین* هم از آن استفاده کرده

---

۱ [Atheist]

و در این کتاب هم به آن اشاره می‌شود، شروع می‌کند. او چشم را با دستگاهی که طراحی و ساخته می‌شود، مثل تلسکوپ، مقایسه می‌کند و نتیجه می‌گیرد که دقیقاً به همان دلیل که چشم برای دیدن ساخته شده، تلسکوپ هم برای کمک به چشم ساخته شده است. چشم هم مثل تلسکوپ باید سازنده‌ای داشته باشد.

بحث *پالی* گرچه با کمال صداقت و با اطلاع از آخرین اطلاعات زیست‌شناختی زمان خودش مطرح شده، ولی اشتباه است. اشتباهی بزرگ و چشمگیر، قیاس چشم و تلسکوپ، قیاس ساعت و یک موجود زنده، قیاس نادرست است. برخلاف آن‌چه به نظر می‌رسد، تنها ساعت‌سازِ طبیعت، نیروهای کورِ طبیعت‌اند، هرچند که به شکل خاصی به کار گرفته شده‌اند. یک ساعت‌ساز واقعی پیش‌بینی می‌کند، او هدفی از ساخت و کاربرد آن در چشم بصیرت خود ترسیم می‌کند. او نقشه‌ی صفحه‌ها و فنرها را می‌کشد و برای ارتباط بین آن‌ها طرحی در ذهن دارد. اما انتخاب طبیعی ناآگاه و نابیناست. این روند خودکار که توسط *داروین* کشف شد و اکنون ما آن را توجیهِ پیدایش و شکل هدف‌دار حیات می‌دانیم، هدفی در سر ندارد. اصلاً نه سری دارد و نه چشم بصیرتی که با آن نقشه‌ای برای آینده داشته باشد. نه پیش‌بینی می‌کند و نه بینایی دارد. اگر او را ساعت‌ساز طبیعت بدانیم، او ساعت‌سازی *نابیناست*.

من این موضوع و خیلی چیزهای دیگر را در رابطه با این موضوع شرح خواهم داد. تنها کاری که نمی‌کنم دست کم گرفتن ساعت‌های زنده‌ای است که این‌چنین *پالی* را شگفت‌زده می‌کرد. من می‌کوشم نشان دهم که *پالی* می‌توانست پیش‌تر هم برود. وقتی صحبت از «ترس» در مقابل «ساعت»های زنده است، من حرف هیچ‌کس را قبول ندارم. من با *پالی* عزیز خیلی بیش‌تر احساس همدلی دارم تا با آن فیلسوف معروف آتئیستِ معاصر که چند وقت پیش با او سرِ شام درباره‌ی این موضوع بحث می‌کردم. به او گفتم من نمی‌توانم تصور کنم کسی قبل از ۱۸۵۹، زمان انتشار *اصل انواع* بتواند آتئیست باشد. دوست فیلسوف پرسید: «*هیوم* چطور؟» گفتم: «او چطور هماهنگی سازمان یافته درون موجودات زنده را توجیه می‌کرد؟» فیلسوف گفت:

«اصلاً چه لزومی دارد که آن را توجیه کنند؟»

پالی می‌دانست که این قضیه توضیح خاصی لازم دارد، *داروین* هم این را می‌دانست و من مطمئن هستم که فیلسوف همنشین من هم ته قلبش این را می‌دانست. در هر صورت وظیفه‌ی من است که آن را در این‌جا بیان کنم. در مورد هیوم هم می‌گویند که این فیلسوف بزرگ اسکاتلندی موضوع «طرحداری و هدفمندی» را یک قرن قبل از *داروین* مطرح کرده است. ولی کار هیوم انتقاد از منطقی بود که براساس آن از نقشه و طرح در طبیعت به عنوان شواهد وجود خدا استفاده می‌شد. او توجیه دیگری برای سازمان یافتگی در ساخت‌های طبیعی نداشت و سؤال مورد نظر را به قضاوت دیگران گذاشت. یک آتئیست قبل از *داروین* ممکن بود بگوید: «من توجیه خاصی برای طرح پیچیده موجودات زنده ندارم. تنها چیزی که می‌دانم این است که «خالق» توجیه خوبی نیست. پس چاره‌ای نیست جز این‌که صبر کنیم شاید کسی پیدا شود و توجیه بهتری داشته باشد.» هر چند چنین جوابی منطقی به نظر می‌رسد ولی خیلی راضی کننده نیست. گرچه قبل از *داروین* هم انکار خالق، منطقی می‌توانست باشد ولی *داروین* این امکان را فراهم آورد که شخص از نظر عقلایی یک آتئیست کامل باشد. به نظر من هیوم هم با این نظر مخالفتی نداشت، هرچند از بعضی نوشته‌های او چنین برمی‌آید که زیبایی و پیچیدگی طبیعت چندان توجهش را جلب نمی‌کرد. شاید طبیعت‌شناس نوجوان، *چارلز داروین* می‌توانست چشمه‌هایی به اون نشان دهد ولی وقتی *داورین* در دانشگاه هیوم در ادینبورگ ثبت‌نام کرد، ۴۰ سال از مرگ هیوم گذشته بود.

من از اصطلاحات پیچیدگی و طرح‌داری طوری سریع گذشتم که انگار این‌ها مفاهیمی بدیهی‌اند. البته از یک نظر روشن‌اند، تقریباً همه مردم می‌دانند معنی پیچیدگی چیست. اما این اصطلاحات در این کتاب آن‌قدر اساسی‌اند که احساس می‌کنم باید کمی دقیق‌تر تعریف شوند. به عبارت دیگر به نظر می‌رسد در این پیچیدگی و طرح‌داری، حالت خاصی وجود دارد.

بالاخره چیز پیچیده کدام است؟ چگونه آن را تشخیص می‌دهیم؟ منظور ما از این‌که می‌گوییم ساعت و هواپیما و آدم پیچیده‌اند ولی کره‌ی ماه ساده است چیست؟ اولین چیزی که به عنوان ویژگیِ ضروریِ جسمِ پیچیده به ذهن خطور می‌کند، داشتن ساختاری ناهمگن است. دسر شیری صورتی رنگ یا ژله، ساده به حساب می‌آیند، یعنی اگر آن‌ها را دو قسمت کنیم، آن دو قسمت ساختار درونی یکسانی دارند. ژله همگن است. اتومبیل همگن نیست. برخلاف ژله هر بخش از اتومبیل با بخش دیگر آن تفاوت دارد. دو نصفه ماشین برابر یک ماشین نیست. در نتیجه می‌شود گفت شیء پیچیده، بر خلاف چیزهای ساده، از بخش‌های متفاوتی ساخته شده و ساختار داخلی این بخش‌ها با هم تفاوت دارد.

این ناهمگنی یا «دارای چند بخش بودن» شاید شرط لازم باشد ولی کافی نیست. بسیاری از چیزها بخش‌هایی متفاوت یا ساختار داخلی ناهمگن دارند ولی از آن نظر که من می‌خواهم بگویم پیچیده به شمار نمی‌آیند. مثلاً کوه *مون بلان*[1] از انواع مختلف سنگ تشکیل شده که همه روی هم انباشته شده‌اند به‌طوری‌که اگر شما هر جای آن را بکَنید، دو بخش از نظر ساخت داخلی همانند نیستند. گرچه *مون بلان* مانند ژله همگن نیست ولی از نظر یک زیست‌شناس، پیچیده هم محسوب نمی‌شود.

از مفهوم احتمال در ریاضی استفاده کرده و از منظر دیگری به پیچیدگی نگاه می‌کنیم. چیز پیچیده چیزی است که بخش‌های تشکیل دهنده‌ی آن طوری هماهنگ شده‌اند که ممکن نیست تصادفی تنظیم شده باشند. این قیاس را از یک ستاره‌شناس بزرگ قرض می‌گیریم که اگر قطعات یک هواپیمای بزرگ را از هم جدا کنید و دوباره آن‌ها را سر هم کنید، احتمال این‌که مجموعه‌ی حاصل، کارآیی یک بوییِنگ را داشته باشد بی‌نهایت کم است. میلیون‌ها راه برای سر هم کردن اجزای یک هواپیما وجود دارد ولی تنها یک یا چند روش محدود ممکن است در عمل به ساختن هواپیما منجر شود. برای سر هم کردن اجزای جدا شده‌ی بدن یک انسان راه‌های بسیار

[1] Mont Blanc

بیش‌تری از آن وجود دارد.

این رویکرد برای تعریف پیچیدگی نویدبخش است اما باز چیزی کم دارد. می‌شود گفت میلیون‌ها راه برای سر هم کردن کوه *مون بالن* وجود دارد ولی فقط یکی از آن‌ها *مون بلان* می‌سازد. اگر کوه *مون بلان* را ساده می‌دانیم، باید ببینیم آن عاملی که انسان و هواپیما را پیچیده به شمار می‌آورد چیست؟ هر مجموعه، انباشته شده‌ای از اشیای منحصر به فرد است و در دوباره‌سازی، غیرمحتمل است که تکرار شود. خرده ریزه‌های انبار شده در حیاط خلوت آشیانه‌ی هواپیما یک مجموعه منحصر به فرد است. هیچ دو آشغالدانی مثل هم نیستند. اگر شما اجزای یک هواپیما را به‌طور اتفاقی روی هم بریزید، احتمال این‌که بتوانید یک بار دیگر دوباره آن‌ها را به همان صورت در آورید همان‌قدر کم است که بخواهید دوباره از آن‌ها یک هواپیمای به‌دردخور بسازید. پس چرا یک توده‌ی آشغال یا *مون بلان* یا ماه را مثل سگ یا هواپیما پیچیده نمی‌دانیم؟ مگر در همه‌ی این‌ها ترتیب قرارگرفتن اتم‌ها نامحتمل نیست؟

قفل رمزدار دوچرخه من ۴۰۹۶ حالت ممکن است داشته باشد. وقتی چرخ را به‌طور اتفاقی بچرخانم احتمال عدم وقوع هر یک از این حالت‌ها برابر است. من چرخ را اتفاقی می‌چرخانم و به شماره‌ها نگاه می‌کنم با نگاه کردن به عددی که می‌آید می‌گویم: «چقدر عجیب است. احتمال این‌که عددی غیر از شماره مورد نظرم بیاید $\frac{۴۰۹۶}{۱}$ است. معجزه کوچکی است.» این احتمال [در] برابرِ روش‌های ممکنِ تنظیمِ دوباره‌ی سنگ‌ها در یک کوه یا قطعات فلز در یک توده ریز و خرد است. از این ۴۰۹۶ وضعیت ممکن برای قفل، تنها ترکیبی که آن را باز می‌کند عدد ۱۲۰۷ است. منحصر به فرد بودن ۱۲۰۷ ربطی به درک آن‌چه پیش آمده ندارد. از قبل سازنده آن را مشخص کرده است. اگر شما چرخ را اتفاقی می‌چرخاندید و اولین بار عدد ۱۲۰۷ می‌آمد، معجزه کوچکی رخ داده بود و شما می‌توانستید دوچرخه را ببرید. حالا اگر اتفاقی درست روی عدد رمز قفل چند صفحه‌ای گاوصندوق یک بانک

بروید، ظاهراً معجزه بزرگی رخ داده و ممکن است به ثروت هنگفتی برسید، هرچند احتمال این‌که عددهای دیگر را بیاورید میلیون‌ها بار بیش‌تر است.

بسیار خوب، در مقایسه ما، احتمال آوردن شماره رمزی که قفل گاو صندوق را باز می‌کند برابر است با احتمال این‌که با سرهم کردن خرده‌های یک هواپیما بتوانیم بوییِنگ واقعی بسازیم. از میلیون‌ها حالت منحصر به فرد و غیرمحتمل برای قفل، فقط یکی آن را باز می‌کند. به طریق مشابه از میلیون‌ها راه برای کنار هم قرار دادن اجزای هواپیما، فقط یکی آن را به پرواز در می‌آورد. یافتن ترتیب منحصر به فردی که باعث پرواز هواپیما یا گشودن قفل می‌شود ربطی به دوباره اندیشی (hind sight) یا درک آن‌چه واقع شده ندارد. این ترتیب از قبل مشخص است. سازنده‌ی قفل آن را مشخص کرده و به صاحب بانک گفته است. توانایی پرواز هم چیزی است که از قبل برای آن تعیین شده است. وقتی هواپیمایی در آسمان می‌بینیم، مسلماً می‌دانیم چیزی است که از تصادفی سرهم کردن قطعات ساخته نشده، چون احتمال این‌که چنین ترکیبی بتواند پرواز کند بی‌نهایت کم است.

حالا اگر همه‌ی حالات ممکن را برای کنار هم چیدن قطعات کوه *مون بلان* در نظر بگیریم، فقط در یکی از آن حالات *مون بلان*، به آن صورتی که ما می‌شناسیمش، ساخته می‌شود. ولی آن مون i که ما می‌شناسیم از روی درک آن‌چه صورت گرفته تعریف می‌شود. هر یک از انواع طرق روی هم انباشته شدن سنگ‌ها کوه نامیده می‌شود و نام یکی ممکن است *مون بلان* باشد. مون بلانی که ما می‌شناسیم چیز خاصی، چیزی که معادل بلند شدن هواپیما از روی زمین یا معادل باز کردن قفل باشد ندارد.

در بدن موجود زنده چه چیزی معادل پرواز هواپیما یا باز کردن قفلِ درِ گاو صندوق است؟ البته گاهی شباعت لغوی وجود دارد. می‌شود گفت گنجشک هم مثل هواپیما پرواز می‌کند. دیدیم که سر هم کردن اجزای یک ماشین پرنده کار ساده‌ای

نیست. اگر شما همه‌ی سلول‌های یک گنجشک را کنار هم بگذارید، احتمال این‌که موجود به دست آمده پرواز کند تقریباً صفر است. به علاوه همه‌ی موجودات زنده پرواز نمی‌کنند، کارهای دیگری انجام می‌دهند که به همان اندازه‌ی پرواز احتمال انجامش کم و مشخص کردنش آشکار است. نهنگ پرواز نمی‌کند ولی شنا می‌کند با همان مهارتی که گنجشک می‌پرد. احتمال این‌که یک مجموعه شامل همه‌ی سلول‌های نهنگ بتواند شنا کند بسیار بسیار کم است، چه رسد به این‌که بخواهد مانند نهنگ‌های واقعی سریع و ماهرانه شنا کند.

در این‌جا یک فیلسوف عقاب چشم (عقاب‌ها چشم تیزی دارند – نمی‌شود با اتفاقی کنار هم قرار دادن عدسی‌ها و سلول‌های حساس به نور چشم عقاب را ساخت) شروع می‌کند به من و من کردن که وارد یک بحث تسلسلی شده‌ایم. گنجشک پرواز می‌کند ولی شنا نمی‌کند ولی نهنگ شنا می‌کند و پرواز نمی‌کند. با درک آن‌چه می‌بینیم است که تصمیم می‌گیریم آن چیزی که سر هم کرده بودیم تا چه حد شناگر یا پرنده‌ی موفقی از آب در آمده است. فرض کنید آن را به عنوان یک ایکس‌گر ماهر قبول داشته باشیم، ایکس، که از گذاشتن سلول‌ها کنار هم ایجاد شده، هر چه می‌خواهد باشد. آن مجموعه سلول ممکن است یک زمین‌کَن مثل موش‌کور یا یک بالارونده‌ی ماهر مثل میمون باشد. ممکن است یک بادپیمای ماهر باشد و یا بتواند تکه‌های چوب روغنی را خوب در چنگالش نگه دارد یا در دایره‌های کوچک‌شونده آن‌قدر بچرخد تا ناپدید شود. این لیست را می‌شود همین‌طور ادامه داد. یا بتواند ...؟

اگر واقعاً بشود این لیست را ادامه داد، چیزی به ذهن آن فیلسوف خیالی من می‌رسد. اگر، هر طور که سلول‌ها را کنار هم بگذارید، با درک آن‌چه می‌بینید می‌توانید بگویید که آن‌چه ساخته می‌شود بالاخره به درد یک کار می‌خورد، پس می‌شود گفت من در مورد گنجشک و نهنگ تقلب کرده‌ام. ولی زیست‌شناس‌ها خیلی دقیق‌تر به موضوع نگاه می‌کنند. و از «به دردخور بودن» مفهوم خاصی در نظر دارند.

حداقل چیزی که لازم است در چیزی باشد تا آن را یک حیوان یا گیاه بدانیم این است که باید به نوعی روزی خود را پیدا کند. (دقیق‌تر بگوییم، یا حداقل بعضی از اعضا آن نوع باید آن‌قدر زنده بمانند که مانند خود را تولید کنند). درست است که راه‌های متفاوتی برای پیدا کردن روزی وجود دارد مثل پرواز، شنا، آویزان شدن از شاخه‌ها و غیره. اما، هر تعداد راه که برای زنده بودن وجود داشته باشد، مسلماً برای مُرده بودن یا زنده نبودن راه‌های بیش‌تری وجود دارد. ممکن است میلیون‌ها بار سلول‌های یک موجود زنده را کنار هم قرار دهیم، آن‌چه به دست می‌آید یک بار هم نتواند پرواز یا شنا کند یا زمین بکَند یا فلان کار را انجام دهد، اگر شده به صورت ناقص که بالاخره بشود گفت که سعی در زنده نگه‌داشتن خود دارد.

این یک بحث طولانی و تکراری شده است و حالا وقت آن رسیده که به یاد بیاوریم چطور وارد آن شدیم. ما داشتیم راهی پیدا می‌کردیم برای این‌که منظورمان از اشاره به چیزی به عنوان پیچیده را شرح دهیم. ما سعی داشتیم روی آن چیزی که در انسان‌ها و موش کور و کرم خاکی و هواپیما و ساعت مشترک است انگشت بگذاریم. آن چیزی که در ژله و کوه *مون بلان* و کره‌ی ماه نیست. به این جواب رسیدیم که چیزهای پیچیده کیفیتی دارند که از قبل، قابل تشخیص است و خیلی نامحتمل است که آن را اتفاقی کسب کرده باشند. در مورد موجودات زنده، آن کیفیتی را که از قبل، قابل تشخیص است می‌شود به عبارتی، مهارت دانست، چه مهارت در پرواز کردن باشد آن‌طور که مورد تحسین مهندسین هوافضا است چه مهارت در کار کلی‌تری مثل توانایی مقابله با مرگ یا توانایی پراکنده کردن ژن خود از طریق تولید مثل.

برای مقابله با مرگ باید تلاش کرد. وقتی بدن به حال خود رها شود، مثل وقتی‌که می‌میریم، سعی می‌کند با محیط اطرافش در تعادل باشد. اگر بعضی کمیت‌ها مثل دما، اسیدی بودن، مقدار آب یا پتانسیل الکتریکی بدنِ موجود زنده را اندازه بگیرید متوجه می‌شوید که کاملاً با محیط اطراف تفاوت دارد. مثلاً، بدن ما

گرم‌تر از محیط اطراف است و در هوای سرد شدیدتر فعالیت می‌کند تا این تفاوت حفظ شود. ولی وقتی می‌میریم این فعالیت کنار گذاشته می‌شود و تفاوت دما از بین می‌رود و با محیط هم دما می شویم. البته همه‌ی حیوانات برای موازنه دمای‌شان با طبیعت این‌جور تلاش نمی‌کنند ولی در هر صورت نوعی کار که معادل آن باشد انجام می‌دهند. مثلاً در یک کشور خشک، حیوانات و گیاهان تلاش می‌کنند مایع درون سلول‌های‌شان را حفظ کنند، تلاش می‌کنند تا این تمایل طبیعی آب را که جاری شدن در دنیای خشکِ بیرون است مهار کنند. اگر موفق نشوند می‌میرند. در کل اگر موجودات زنده فعالانه تلاش نمی‌کردند، جذب طبیعت اطراف می‌شدند و موجودیت خود را به عنوان موجود مستقل از دست می‌دادند. این آن چیزی است که وقتی می‌میریم رخ می‌دهد.

غیر از بعضی دستگاه‌های ساخت بشر که ما توافق کردیم آن‌ها را زنده‌ی افتخاری بدانیم، طرز کار چیزهای غیرزنده‌ی دیگر به این صورت نیست. آن‌ها تحت تأثیر نیروهایی واقع می‌شوند که آن‌ها را با طبیعت هماهنگ می‌کند. کوه *مون بلان* گرچه تلاشی برای بودن خود را نمی‌کند یقیناً مدتی است که وجود داشته و تا مدتی هم وجود خواهد داشت. تا وقتی سنگ‌ها تحت جاذبه‌ی زمین‌اند کوه آن‌جا می‌ماند. هیچ کاری برای آن‌جا ماندنش صورت نمی‌گیرد. *مون بلان* هست و آن‌قدر آن‌جا می‌ماند تا به تدریج فرسوده شود یا زلزله‌ای آن را متلاشی کند. این کوه کاری برای ترمیم فرسودگی و ریختگی خود نمی‌کند یا برخلاف موجود زنده، پس از زلزله، کاری برای بازسازی فروریختگی خود نمی‌کند. فقط از قانون طبیعت پیروی می‌کند.

پس اگر این‌طور است موجودات زنده، تابع قوانین طبیعت نیستند؟ یقیناً این‌طور نیست. لزومی ندارد فکر کنیم در موجود زنده قانون طبیعت حاکم نیست. در آن‌ها هیچ چیز غیرعادی، هیچ «نیروی زندگی» که با نیروهای طبیعت در مقابله باشد وجود ندارد. فقط اگر بخواهید به صورت سطحی از قوانین طبیعت برای شناخت و درک رفتار موجود زنده استفاده کنید راه به جایی نمی‌برید. بدن مجموعه‌ای

است که اجزای بسیار زیاد دارد و برای درک رفتار آن باید قوانین طبیعت را در همه‌ی اجزای آن در نظر گرفت. رفتار بدن، در کل، حاصلِ تعاملِ همه‌ی اجزاء آن است.

مثلاً قانون حرکت را در نظر بگیرید. اگر یک پرنده مُرده را به آسمان پرتاب کنید، یک سهمی زیبا، درست مطابق کتاب فیزیک، برای شما ترسیم می‌کند و به زمین برمی‌گردد. درست رفتاری که جسم جامد باید در مقابل مقاومت هوا داشت باشد از خود نشان می‌دهد. اما اگر پرنده زنده را به آسمان پرتاب کنید سهمی رسم نمی‌کند و به زمین برنمی‌گردد و ممکن است در کشور همسایه به زمین بنشیند. دلیلش این است که ماهیچه‌هایی دارد که در مقابل جاذبه‌ی زمین و دیگر نیروهای طبیعت که بر بدنش وارد می‌شوند مقاومت می‌کند. در تک‌تک سلول‌های آن پرنده قوانین طبیعت رعایت می‌شوند، در نتیجه ماهیچه‌ها طوری بال‌ها را به حرکت در می‌آورند که پرنده در آسمان بماند. پرنده قانون جاذبه را نقض نمی‌کند. مدام جاذبه‌ی زمین آن را به طرف پایین می‌کشد، اما بال‌هایش، با وجود جاذبه‌ی زمین، فعالیت‌هایی انجام می‌دهند و آن را در هوا نگه می‌دارند. اگر دقت کافی نکنیم و آن را مانند یک تکه ماده با جرمی خاص در مقابل مقاومت هوا در نظر بگیریم ممکن است فکر کنیم که قوانین طبیعت را به هم زده است. ولی اگر دقت داشته باشیم که پرنده از بخش‌های داخلی مختلفی درست شده که هر کدام در سطح خود تابع قوانین طبیعت است، آن وقت متوجه رفتار پرنده، در کل، می‌شویم. البته این ویژگی خاص موجود زنده نیست و شامل همه‌ی دستگاه‌های ساخته‌ی بشر می‌شود و درواقع شامل هر چیز پیچیده‌ای است که از بخش‌های متفاوت ساخته شده باشد.

این ما را به موضوع پایانی، یعنی این‌که منظورمان از توضیح چیست و می‌خواهم در این فصل فلسفی بحث کنم، رهنمون می‌شود. قبلاً دیدیم که منظورمان از چیز پیچیده چیست. ولی اگر یک ماشین پیچیده یا یک جاندار باعث شگفتی ما می‌شود، چه نوع توضیحی از طرز کار آن ما را قانع می‌کند؟ پاسخ آن است که ما در

پاراگراف قبل به آن دست یافته‌ایم. اگر بخواهیم بفهمیم یک ماشین یا بدن یک جاندار چگونه کار می‌کند به اجزای سازنده آن نگاه می‌کنیم و می‌پرسیم چگونه با هم تعامل می‌نمایند. اگر باز هم چیز پیچیده‌ای وجود داشته باشد که ما نمی‌فهمیم، می‌توانیم با شناخت بخش‌های ساده‌تر که قبلاً شناخته‌ایم به شناخت آن موفق شویم.

اگر من از یک مهندس بپرسم ماشین بخار چطور کار می‌کند، یک تصور تقریبی از نوع پاسخی که باید بشنوم در ذهن دارم. اگر فقط بگوید با نیروی لوکوموتیو، مثل *جولیان هاکسلی*، قانع نمی‌شوم. اگر هم این‌طور شروع کند که کل آن چیزی بیش‌تر از مجموع اجزای آن است، حرفش را قطع می‌کنم و می‌گویم این چیزهای را بگذار کنار، بگو چطور کار می‌کند. من می‌خواهم بدانم اجزای ماشین چه ارتباطی با هم دارند که در کل ماشین را به کار می‌اندازند. من آماده‌ام ابتدا توضیحی درباره‌ی بخش‌های مختلف اصلی، که هر کدام احتمالاً پیچیدگی خاص خود را دارند، بشنوم. در یک توضیح قانع کننده ممکن است ابتدا از بخش‌هایی مثل جعبه آتش، دیگِ بخار، سیلندر، پیستون و کنترل بخار نام برده شود، بدون این‌که ساختار درونی آن‌ها توضیح داده شود. من این روش را می‌پذیرم، بدون این‌که بخواهم بپرسم هر بخش چگونه کار خاص خودش را انجام می‌دهد. با این فرض که هر بخشی کار مربوط به خودش را انجام می‌دهد، من متوجه می‌شوم که این بخش‌ها در رابطه با یکدیگر چه نقشی دارند و در کل چگونه باعث حرکت ماشین می‌شوند.

البته بعد می‌توانم بپرسم که هر بخش چگونه کار می‌کند. یعنی بعد از این‌که دانستم بخش کنترل بخار کارش تنظیم جریان بخار است و از این دانسته در درک ساز و کار کل دستگاه استفاده کردم، به این پرسش می‌رسم که خود دستگاهِ کنترل بخار چگونه کار می‌کند. یعنی می‌خواهم بدانم چطور این قدرت را به دست می‌آورد و اجزای آن کدامند. در هر قسمت سلسله‌مراتبی از اجزای کوچک‌تر وجود دارد. رفتار هر جزء، در هر تراز، با استفاده از شرح تعامل بین اجزای زیر مجموعه آن تراز که هر کدام مسلماً ساختار داخلی‌شان را دارند بیان می‌شود. ما از طریق سلسله‌مراتبِ اجزا

کم‌کم پیش می‌رویم تا به واحد ساده‌ای برسیم که دیگر لزومی نداشته باشد درباره‌اش چیزی بپرسیم چون می‌شناسیمش. مثلاً کم و بیش همه‌ی ما ویژگی‌های میله‌ی آهنی را می‌دانیم و می‌توانیم از آن به عنوان واحد توضیح در شرح دستگاه‌های پیچیده‌تری که شامل آن است استفاده ببریم.

البته فیزیک‌دانان یک میله‌ی آهنی را هم چیز ساده‌ای در نظر نمی‌گیرند. علت جامد بودن آن را زیر سؤال می‌برند و پرسش آن‌ها سلسله‌مراتب بیش‌تری را طی می‌کند تا به ذرات بنیادی و کوارک می‌رسند. ولی عمر بیش‌ترِ ما کوتاه‌تر از آن است که به آن‌ها بپردازیم. توضیح قانع کننده برای هر تراز از یک سازه‌ی پیچیده به طور معمول، شامل یک یا دو لایه (مرتبه) پایین‌تر از جایی است که شروع کرده‌ایم نه بیش‌تر. طرز کار موتور را با استفاده از سیلندر، کاربراتور و شمعک توضیح می‌دهند. می‌دانیم که هر کدام از این‌ها در رأس هرمی از توضیحات اجزای ترازهای پایین‌تر قرار دارند. اما اگر شما از من بپرسید موتور اتومبیل چطور کار می‌کند و من از قوانین نیوتون و هیدرودینامیک شروع کنم، بدجوری به من نگاه می‌کنید و اگر از ذرات بنیادی شروع کنم مطمئن می‌شوید که قصد گیج کردن شما را دارم. شکی نیست که در نهایت، رفتار ماشین را باید از طریق تعامل بین ذرات بنیادی تبیین نمود ولی خیلی معقول‌تر است که شرح آن را با استفاده از رابطه بین سیلندر و پیستون و شمعک شروع کنیم.

طرز کار کامپیوتر را می‌شود از دروازه‌های الکترونیکی نیمه هادی – که فیزیک‌دانان آن‌ها را در ترازهای ریزتر بررسی می‌کنند – شروع کرد. اما در اکثر موارد بررسی طرز کار کامپیوتر از این تراز تلف کردن وقت است. در کامپیوتر تعداد بسیار زیادی دروازه‌های الکترونیکی و تعداد بسیار زیاد رابطه بین آن دروازه‌ها وجود دارد. یک توضیح معقول باید درباره‌ی تعداد محدودی رابطه و قابل بازرسی باشد. به این دلیل اگر بخواهیم سر از کار کامپیوتر در بیاوریم، ترجیح می‌دهیم ابتدا توضیحی درباره‌ی چند چیز اصلی آن مانند حافظه، واحد کنترل، درون‌داد، برون‌داد،

کاربر و غیره بشنویم. بعد از این‌که متوجه رابطه بین این چند عامل شدیم، ممکن است پرسش‌هایی در مورد اجزای داخلی این بخش‌ها مطرح کنیم. فقط مهندسان متخصص وارد سؤالاتی درباره‌ی دروازه‌های AND و NOR می‌شوند و فیزیک‌دان‌ها هم در مورد رفتار الکترون‌ها در مدیوم‌های نیمه هادی سؤالاتی مطرح می‌کنند.

برای کسانی که از اسم «–ایسم»دار خوششان می‌آید، احتمالاً مناسب‌ترین اسم برای رویکردی که من به ساز و کار چیزها دارم «تقلیلیسم سلسله‌مراتبی» خواهد بود. اگر مجله‌های روشن‌فکری روز را بخوانید، شاید توجه کرده باشید که «تقلیل‌گرایی» یکی از آن چیزهای مثل «گناه» است که فقط آن‌هایی که مخالف‌اش هستند آن را بر زبان می‌آورند. در بعضی از محفل‌ها آدم خودش را «تقلیل‌گرا» بنامد مثل این است که خودش را «بچه‌خوار» نامیده باشد. اما چون درواقع «بچه‌خوار» وجود ندارد، هیچ‌کس هم یک تقلیل‌گرای به آن مفهومی که ارزش مخالفت کردن داشته باشد نیست. این تقلیل‌گرای ناموجود – از آن نوع که همه مخالفش‌اند ولی فقط در ذهن مردم وجود دارد – سعی می‌کند همه چیزهای پیچیده را مستقیماً با استفاده از کوچک‌ترین جزء آن‌ها توضیح دهد، حتی مثلاً در بعضی روایت‌های افراطی این زاده‌ی خیال، کل را مجموع اجزاء به شمار می‌آورد. ولی تقلیل‌گرای سلسله‌مراتبی، هر سازه‌ی پیچیده را، در هر تراز از سلسله‌مراتب ساختاری که باشد، فقط با استفاده از چیزهایی که یک مرتبه پایین‌تر از آن قرار دارند شرح می‌دهد. البته چیزهایی که در یک مرتبه پایین‌تر قرار گرفته‌اند احتمالاً خودشان آن‌قدر پیچیده هستند که لازم باشد با استفاده از اجزای کوچکتر از خود شرح داده شوند و همین‌طور الی آخر. گرچه آن تقلیل‌گرای بچه‌خوارِ افسانه‌ای همیشه این کار را انکار می‌کند ولی نوع توضیحاتی که مناسب اجزای رده‌ی بالای سلسله‌مراتب‌اند با توضیحات مربوط به رده‌های پایین فرق دارد. نکته مورد نظر در این‌که، چرا ترجیح می‌دهیم موتور ماشین را با استفاده از کاربراتور، نه با ذرات بنیادی شرح دهیم همین است. اما تقلیل‌گرای سلسله‌مراتبی قبول دارد که طرز کار کاربراتور را باید با استفاده از اجزای آن و اجزای کاربراتور را

با استفاده از اجزای کوچک‌تر آن شرح داد و همین‌طور الی آخر تا به ذرات بنیادی برسیم. تقلیل‌گرایی، با این مفهوم، نام دیگری است برای دریافتن ساز و کار چیزها با شوقی صادقانه.

این بخش را با این پرسش شروع کردیم که: چه نوع توضیحی از چیزهای پیچیده برای ما قانع کننده است؛ این سؤال را از نظر مکانیسم یعنی طرز کار آن در نظر گرفتیم و به این نتیجه رسیدیم که رفتار یک چیز پیچیده را باید با بیان رابطه بین بخش‌های مختلف آن توضیح داد و هر بخش را شامل سلسله‌ای از ترازها به حساب آورد. ولی نوع دیگر پرسش می‌تواند این باشد که اصلاً چیزهای پیچیده چگونه به وجود می‌آیند. همه این کتاب به‌طور خاص به این سؤال می‌پردازد، بنابراین فعلاً من چیزی در این باره نمی‌گویم. فقط این را ذکر می‌کنم که همین اصل کلی برای مکانسیم درک هم به کار می‌رود. چیز پیچیده، چیزی است که ما خیلی تمایل نداریم وجودش را مسلم فرض کنیم چون احتمال وجود داشتنس خیلی کم است و نمی‌تواند بر اثر حادثه‌ای و تصادفی پیدا شده باشد. ما پیدایش آن را به صورت نتیجه‌ی مراحل تدریجی و قدم به قدم انباشته شدن و دگرگونی چیزهای ساده‌تر، چیزهایی ابتدایی که پیدایش آن‌ها می‌تواند حاصل یک اتفاق و تصادف باشد، شرح می‌دهیم. درست همان‌طور که «تقلیل‌گرایی بلند گام» به درد توضیح دادن چیزی نمی‌خورد و باید از پیش رفتن گام‌به‌گام بهره جست، ما هم نمی‌توانیم چیز پیچیده‌ای مثل «پدید آمدن» را در یک مرحله شرح دهیم. ما باید از یک سلسله مراحل بگذریم، یعنی گام‌به‌گام پیش برویم که در این‌جا به ترتیب زمانی پشت سر هم قرار می‌گیرند.

استاد فیزیک و شیمی دانشگاه آکسفورد، پیتر *اتکینز*، کتاب *خلقت* خود، را چنین آغاز می‌کند:

> من ذهن شما را به سفر می‌برم، سفر درک، سفری که ما را به مرز فضا، زمان و دانستن می‌برد. به شما نشان می‌دهم چیزی نیست که نشود آن را فهمید، چیزی

نیست که نتوان آن را شرح داد و همه چیز به طرز عجیبی ساده است... بسیاری از چیزهای دنیا توضیح لازم ندارند. مثلاً فیل. وقتی که مولکول‌ها یاد گرفتند که رقابت کنند و مولکول‌های شبیه خودشان را بسازند، فیل و چیزهایی فیل مانند در کوه و دشت به راه افتادند.

اتکینز معتقد است وقتی شرایط طبیعی مناسب ایجاد شود تکامل چیزهای پیچیده – موضوع بحث این کتاب – اجتناب‌ناپذیر است. او می‌پرسد حداقل شرایط طبیعی لازم چیست و حداقل کاری که یک آفریننده‌ی تنبل باید انجام دهد کدام است تا این‌که جهان و بعد فیل‌ها و موجودات پیچیده دیگر بتوانند پا به عرصه وجود گذارند. از دید یک فیزیک‌دان جواب این است که آن خالق باید بی‌نهایت تنبل باشد. ذرات بنیادی که ما آن‌ها را مسلم می‌انگاریم یا (بر اساس نظر بعضی فیزیک‌دان‌ها) هیچ‌اند یا (بر اساس نظر گروهی دیگر) از ساده‌ترین ساده‌ها تشکیل شده‌اند، خیلی ساده‌تر از آن‌که به چیزی باشکوه مانند آفرینش ارادی، نیازی باشد.

اتکینز می‌گوید فیل و موجودات زنده شرح دادن لازم ندارند. او این را می‌گوید چون رشته‌اش فیزیک است و تئوری تکامل زیست‌شناسی را مسلم فرض می‌کند. منظور واقعی او این نیست که لازم نیست فیل را توضیح دهیم؛ بلکه می‌خواهد بگوید که این کار را زیست‌شناس‌ها انجام می‌دهند به شرط این‌که مجاز باشند بعضی حقایق مربوط به فیزیک را مسلم فرض کنند، بنابراین وظیفه او به عنوان یک فیزیک‌دان این است که مسلم فرض کردن آن حقایل را توسط ما قابل توجیه کند، این کاری است که می‌تواند انجام دهد. جایگاه من یک جایگاه تکمیل‌کننده است. من زیست‌شناسم. حقایق علم فیزیک، حقایق جهان ساده را مسلم در نظر می‌گیرم. این‌که فیزیک‌دان‌ها تا چه اندازه در مورد پذیرفته بودن این حقایق اختلاف نظر دارند مسئله من نیست. کار من توضیح دادن ساز و کار فیل و دنیای چیزهای پیچیده است و با استفاده از عوامل ساده‌تری که فیزیک‌دان‌ها آن‌ها را شناخته‌اند یا دارند روی آن‌ها کار می‌کنند. مسئله زیست‌شناس‌ها مسئله پیچیدگی است. زیست‌شناسان

سعی می‌کنند طرز کار و چگونگی پیدایش چیزهای پیچیده را با استفاده از چیزهای ساده‌تر بیان کنند. وقتی زیست‌شناس می‌تواند بگوید کاری انجام داده، که به چیزهایی آن‌قدر ساده رسیده باشد که بتوان توجیه آن‌ها را به فیزیک‌دان‌ها سپرد.

می‌دانم که توصیف من از چیز پیچیده یعنی: از نظر آماری نامحتمل به‌طوری‌که تشخیص آن با نگاه کردن به آن‌چه قبلاً بوده ممکن نیست.[۱] – توصیفی ویژه خودم است. توصیف من از فیزیک به عنوان مطالعه‌ی چیزهای ساده هم همین‌طور است. اگر ترجیح می‌دهید پیچیدگی را طور دیگری تعریف کنید، من حرفی ندارم و خوشحال می‌شوم که بر سر این موضوع با هم صحبتی داشته باشیم. برای من مهم این است که نام آن ویژگی از نظر آماری نامحتمل به‌طوری‌که تشخیص آن با نگاه کردن به آن‌چه قبلاً بوده ممکن نیست. – بودن را هر چه بگذاریم، کیفیت مهمی است که نیاز به شرح خاصی دارد. این ویژگی است که باعث تمایز بین چیزهای زیستی در مقابل چیزهای فیزیکی می‌شود. تعریفی که ما از آن می‌کنیم نباید مغایر با قوانین فیزیک باشد. چون در واقع تابع قوانین فیزیک است نه چیز دیگر. ولی قوانین فیزیک طور خاصی در آن به کار رفته‌اند، نه آن طور که معمولاً در کتاب‌های درسی آمده است. این روش خاص، روش داروین است. من مفاهیم اصلی آن را در فصل سوم با عنوان انتخاب انباشتی شرح می‌دهم.

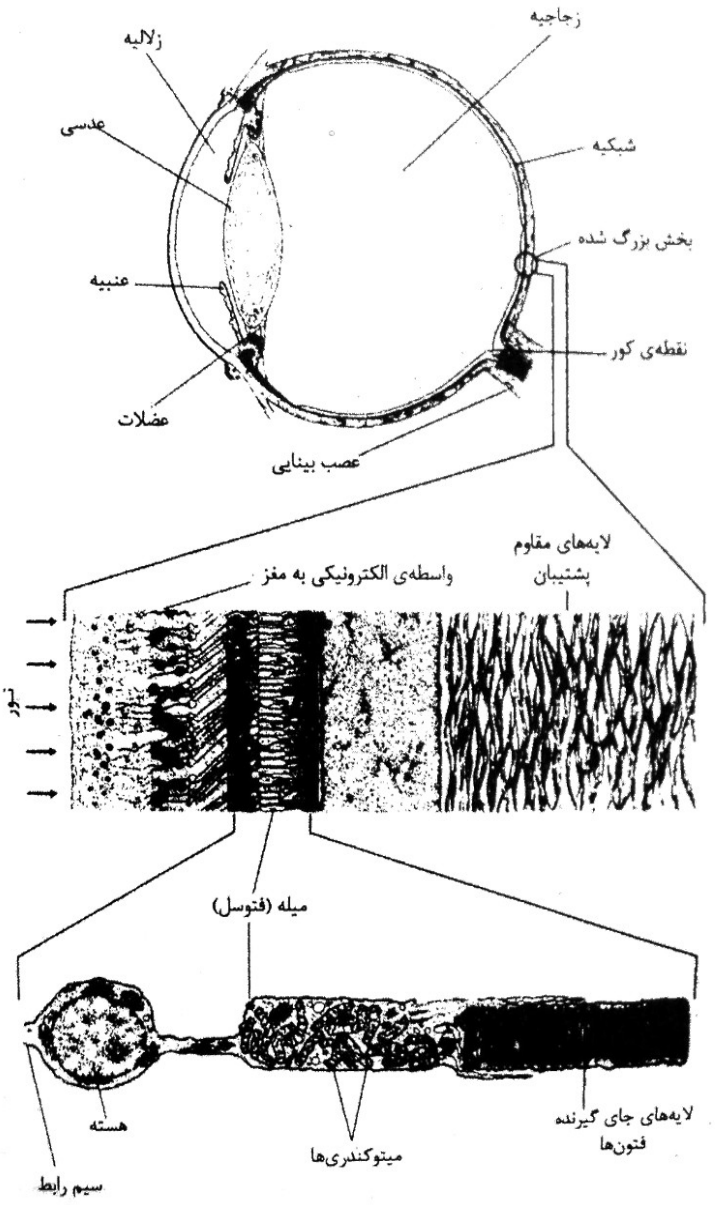
در عین حال به پیروی از *پالی* روی بزرگنمایی مسئله‌ای که توصیف ما با آن مواجه است یعنی اوج پیچیدگی و زیبایی و ظرافت در طرح‌های زیستی – تأکید دارم. فصل دو بحث گسترده‌ای درباره‌ی یک نمونه، «رادار» خفاش است که مدتی بعد از زمان *پالی* کشف شد. و در این‌جا در این فصل شکل شماره یک را گذاشته‌ام – چقدر میکروسکوپ الکترونیکی می‌توانست برای پالی جالب باشد! – که تصویر یک چشم با دو درشت نمایی از بخش‌هایی از آن است. در بالای شکل خود چشم است. در این تراز از بزرگنمایی، چشم مثل یک ابزار نوری است. شباهت آشکاری به

[۱] Statistically improbable in a direction that is specified not with hindsight.

دوربین عکاسی دارد. کار پرده عنبیه این است که مدام روزنه‌ی ورود نور را تنظیم کند. این عدسی، که درواقع فقط بخشی از مجموعه‌ای از عدسی‌ها است که کار تطابق را انجام می‌دهد تنظیم تمرکز را بر عهده دارد، کانون با فشردن عدسی توسط ماهیچه‌ها تغییر می‌کند (در بوقلمون عدسی به جلو و عقب حرکت می‌کند مثل دوربین عکاسی دست‌ساز). تصویر روی شبکیه در قسمت عقب چشم می‌افتد و سلول‌های نوری را متأثر می‌کند.

بخش میانی شکل ۱ قسمت کوچکی از شبکیه را به صورت بزرگ شده نشان می‌دهد. نور از سمت چپ وارد چشم می‌شود. ولی اول به سلول‌های نوری بر نمی‌خورد، آن‌ها عقب‌تر قرار دارند. در ادامه به این ویژگی عجیب خواهیم پرداخت.

اولین چیزی که سر راه نور است لایه‌ای گرهی است که جداری الکترونی بین سلول‌های نوری و مغز است. درواقع سلول‌های گرهی به طرز پیچیده‌ای کارِ پردازش اطلاعات، قبل از فرستادن آن به مغز را برعهده دارند، گرچه واژه‌ی جدار برای این نقش، اسم با مسمایی نیست. شاید «پردازشگر ماهواره‌ای» نام مناسب‌تری باشد. رشته‌هایی از سلول‌های گرهی که در سطح شبکیه تا نقطه کور پراکنده شده‌اند همه از آن‌جا وارد شبکیه شده و کابل اصلی ارتباط با مغز یعنی عصب بینایی را می‌سازند. در جدار سلول‌های گرهی حدود ۳ میلیون سلول وجود دارد که اطلاعات را از تقریباً ۱۲۵ میلیون سلول نوری جمع‌آوری می‌کنند.


زجاجیه
زلالیه
عدسی
شبکیه
بخش بزرگ شده
عنبیه
نقطه‌ی کور
عضلات
عصب بینایی
لایه‌های مقلوم
پشتیبان
واسطه‌ی الکترونیکی به مغز
نور
میله (فتوسل)
هسته
میتوکندری‌ها
لایه‌های جای گیرنده
فتون‌ها
سیم رابط

شکل ۱

در پایین شکل یک سلول نوری بزرگ شده، به صورت میله دیده می‌شود. وقتی به ساختار ظریف این سلول نگاه می‌کنید یادتان باشد که همه‌ی این پیچیدگی‌ها در هر شبیکه ۱۲۵ میلیون بار و پیچیدگی‌هایی نظیر آن در کل بدن تریلیون‌ها بار تکرار می‌شود. تصویر ۱۲۵ میلیون سلول نوری حدوداً پنج هزار برابر تعداد نقطه‌های قابل تشخیص در یک عکس با کیفیت یک مجله است. رشته‌های تا خورده در سمت راست سلول نوری ساختارهای اصلی جمع‌آوری نور هستند. شکل لایه‌ای آن‌ها کارایی سلول‌های نوری را در جذب فوتون‌ها – ذراتی که نور از آن‌ها ساخته شده – بالا می‌برد. اگر فوتونی به اولین رشته بر نخورد، احتمالاً به دومی برخورد می‌کند و همین‌طور الی آخر، در نتیجه بعضی چشم‌ها قادرند حتی یک تک فوتون را هم بگیرند. سریع‌ترین و حساس‌ترین محلول فیلم که در اختیار عکاسان قرار دارد به بیست و پنج بار بیش‌تر فوتون نیاز دارد تا یک نقطه از نور را بگیرد. چیزهای لوزی شکل که در بخش وسط قرار دارند میتوکندری هستند. میتوکندری خاص سلول نوری نیست، در بیش‌تر سلول‌های دیگر نیز وجود دارد. هر کدام از آن‌ها را می‌شود یک نیروگاه در نظر گرفت که بیش از ۱۰۰ ماده‌ی شیمیایی را در رشته‌های دراز و به هم پیچیده‌ای که در سطح داخلی غشای خود دارد پردازش می‌کند، تا انرژی قابل استفاده را به عنوان اولین محصول خود ارایه کند. آن شکل مدور در سمت چپ شکل ۱ هسته است. این هم، در سلول‌های همه‌ی گیاهان و جانوران وجود دارد. همان‌طور که در فصل ۵ خواهیم دید، هر دسته یک پایگاه داده‌های رمزگذاری شده‌ی دیجیتالی دارد که دارای اطلاعاتی معادل ۳۰ جلد دایره‌المعارف بریتانیکاست. این رقم فقط برای یک سلول است نه برای همه‌ی سلول‌های بدن.

میله‌ای که در پایین تصویر است فقط یک سلول را نشان می‌دهد. کل سلول‌های بدن انسان حدود ده تریلیون است. وقتی استیک می‌خورید، دارید چیزی برابر ۱۰۰ میلیارد جلد دایره‌العمعارف بریتانیکا را پاره پاره می‌کنید.

فصل ۲

طرح خوب

انتخاب طبیعی مانند ساعت‌سازی نابیناست. نابیناست چون پیشِ رو را نمی‌بیند، نتیجه کار را نمی‌سنجد و هدفی را دنبال نمی‌کند. با وجود این، حاصلِ کارِ انتخابِ طبیعی طوری است که ظاهراً سازنده‌ای ماهر آن را با نقشه قبلی ساخته و پرداخته است. هدف این کتاب حل کردن این تناقض به صورت قابل قبولی برای خواننده و هدف این فصل نشان دادن جاذبه ظاهر فریبنده طرح به خواننده است. ما در این‌جا با پرداختن به یک نمونه خاص به این نتیجه خواهیم رسید که وقتی صحبت از زیبایی و پیچیدگی طرح است، *پالی* هنوز ابتدای راه است.

ما یک عضو یا یک جاندار را در صورتی خوش‌ساخت می‌دانیم که از روی ظاهر و خصوصیات آن احساس کنیم سازنده‌ای آگاه و هوشمند از ساختن آن هدف معقولی مثل، پرواز، شنا، دیدن، خوردن، تولید مثل یا اهداف کلی‌تری مانند تلاش برای زنده ماندن و تکثیر ژن در نظر داشته است. لزومی ندارد طرح بدن یک جاندار یا یک عضو را بهترین طرح ممکن بدانیم. در اکثر موارد، بهترین کارِ یک مهندس، به وسیله کار مهندسان دیگر، مخصوصاً آن‌ها که در تاریخ تکنولوژی بعد از او می‌آیند، پس زده می‌شود. اما هر مهندسی با مشاهده یک چیز ساخته شده به هدف از ساخت و کاربرد آن پی می‌برد. در فصل اول ما بیش‌تر به جنبه فلسفی موضوع

پرداختیم. در این فصل به یک نمونه واقعی می‌پردازیم که فکر می‌کنم هر مهندسی را به تعجب وادارد و آن چیزی است به نام سونار (رادار) در خفاش‌ها. برای توضیح هر نکته، ابتدا مشکل موجود زنده مطرح می‌شود، سپس راه‌حل‌هایی که ممکن است مهندسان متفکر برای آن داشته باشند بررسی می‌گردد و سرانجام به چاره‌ای که طبیعت برای آن در نظر گرفته خواهیم پرداخت. البته این نمونه تنها یک مثال است، برای مهندسی که از مشاهده خفاش شگفت‌زده می‌شود، طبیعت چیزهای بی‌شماری در چنته دارد.

مشکل خفاش پیدا کردن راه در تاریکی است. خفاش‌ها شب به شکار می‌روند و برای دیدن طعمه و موانع سر راه نمی‌توانند از نور استفاده کنند. ممکن است فکر کنید که این مشکل را خودشان ایجاد کرده‌اند و می‌توانند با تغییر عادت و شکار در روز آن را برطرف کنند. اما بازار روز را جانداران دیگر مثل انواع پرندگان کاملاً اشغال کرده‌اند. با فرض این‌که بازارِ روز کاملاً اشباع شده ولی در شب می‌توان غذایی یافت، انتخاب طبیعی این لطف را به خفاش‌ها کرده و امکان استفاده از بازار در شب را برای آن‌ها فراهم آورده است. احتمالاً زمانی که دایناسورها همه‌ی اقتصاد روز را در اختیار داشتند، شب‌رو بودن، راز بقای اجداد پستاندار ما بوده است. و اجدادا ما بعد از آن انقراض کلی دایناسورها – حدود ۶۵ میلیون سال پیش – توانسته‌اند از روشنایی روز استفاده کنند.

برگردیم به خفاش‌ها. مشکل مهندسی آنان این است که چطور راه و طعمه‌شان را در تاریکی پیدا کنند. این تنها مشکل خفاش‌ها نیست. بدیهی است که حشرات شب پرواز که طعمه خفاش می‌شوند هم باید راه‌شان را بیابند. ماهی‌ها و وال‌های اعماق دریا هم از روشنایی روز کم‌بهره یا بی‌بهره‌اند، چون نور خورشید نمی‌تواند تا آن اعماق نفوذ کند. ماهی‌ها و دولفین‌هایی که در آبِ بسیار گِل‌آلود زندگی می‌کنند، نمی‌بینند زیرا نور در آن‌جا به وسیله‌ی ذرات گِل پراکنده می‌شود. تعداد زیادی از حیوانات امروزی در آب‌هایی زندگی می‌کنند که دیدن در آن‌جا دشوار یا غیرممکن است.

برای مسئله حرکت در تاریکی، یک مهندس چه راه حلی در نظر می‌گیرد؟ نخستین فکری که به ذهن او می‌رسد ایجاد نور است به وسیله‌ی فانوس یا نورافکن. حشرات شب‌تاب و بعضی ماهی‌ها (معمولاً به کمک باکتری‌ها) می‌توانند نور تولید کنند ولی ظاهراً برای این کار به انرژی بسیار نیاز دارند. این کار انرژی زیادی لازم ندارد: یک نر که یک نقطه نور کوتاه تولید می‌کند، به راحتی از مسافت دور به وسیله‌ی ماده دیده می‌شود زیرا چشم ماده مستقیماً به منبع نور می‌افتد. ولی استفاده از نور برای پیدا کردن راه در تاریکی انرژی بسیار لازم دارد زیر چشم باید در نوری که از همه جای محیط بر می‌گردد جستجو کند. بنابراین منبع نور باید قوی باشد که راه را به خوبی روشن کند بسیار بیش‌تر از نوری که برای علامت‌دادن به کار می‌رود. در هر صورت، دلیل آن، چه مصرف انرژی باشد چه نباشد، به نظر می‌رسد به استثنای بعضی ماهی‌های عجیب اعماق دریا، هیچ جانداری غیر از انسان از چراغ برای یافتن مسیرش استفاده نمی‌کند.

دیگر چه راه حلی ممکن است به ذهن مهندس ما برسد؟ ظاهراً آدم‌های نابینا حس اسرارآمیزی دارند که به آن‌ها کمک می‌کند متوجه مانع‌های سرِ راه‌شان بشوند. این «حس بینایی چهره‌ای»[۱] نام گرفته زیرا افراد نابینا گفته‌اند چیزی شبیه حس لامسه در صورت است. براساس یک گزارش، یک پسر بچه کاملاً نابینایی با استفاده از حس بینایی چهره می‌توانست با سرعت معمول دور و بر ساختمان خانه‌اش دوچرخه‌سواری کند. اما آزمایش نشان داده است این حس که به چهره ربط داده می‌شود، به حس لامسه یا جلو چهره ربطی ندارد. مثل دردی است که گاهی به عضوی غیر از آن‌چه که هست ربط داده می‌شود. معلوم شده است که احساس بینایی چهره درواقع از طریق گوش صورت می‌گیرد. افراد نابینا بدون این‌که واقعیت را بدانند، با استفاده از پژواک صداها، پژواک صدای پای خودشان و هر صدای دیگری، وجود موانع را حس می‌کنند. مهندسان قبل از کشف این موضوع، با

---

۱ Facial vision

استفاده از این اصل وسایلی ساخته بودند که در مواردی مانند اندازه‌گیری عمق آب در زیر کشتی به کار می‌رفت. طراحان اسلحه بعد از کشف این تکنیک از آن در ساختن ابزارهایی برای ردیابی زیردریایی‌ها استفاده کردند. در جنگ جهانی دوم، هر دو طرف به‌طور گسترده از این نوع وسایل با اسم رمز اسدیک[۱] (انگلیسی) و سونار[۲] (آمریکایی) و همچنین از تکنیک مشابهی که به جای صوت، امواج رادیویی در آن به کار می‌رفت، به نام رادار (آمریکایی) یا آر.دی.اف[۳] (انگلیسی) استفاده می‌کردند.

در آن زمان، پیشگامان استفاده از سونار و رادار، برخلاف همه مردم زمان ما، نمی‌دانستند که در خفاش‌ها یا درواقع در انتخاب طبیعی حاکم بر خفاش‌ها، چنین سیستمی از میلیون‌ها سال پیش شکل گرفته است و توانایی و دقت رادار خفاش‌ها در یافتن و هدایت کردن، هر مهندسی را انگشت به دهان به تحسین وامی‌دارد. از نظر فنی کاربرد واژه رادار برای خفاش‌ها صحیح نیست زیرا خفاش از امواج رادیویی استفاده نمی‌کند. سیستم آن‌ها با امواج صوتی کار می‌کند. اما اصول ریاضی زیربنایی رادار و سونار بسیار به هم شبیه‌اند و درک عمل ما از جزئیات کار خفاش تا حد زیادی با کمک استفاده از اصول نظری رادار بر روی آن‌ها به دست آمده است. *دونالد گریفین* جانورشناس آمریکایی، که نقش عمده‌ای در کشف سونار در خفاش‌ها دارد، برای نخستین بار اصطلاح Echolocation[۴] را به کار برد که شامل سونار و رادار، هر دو، می‌شد چه در حیوانات چه در ابزارهای ساخته شده توسط انسان. اما عملاً این واژه بیش‌تر در اشاره به سونار در حیوانات به کار می‌رود.

همه‌ی خفاش‌ها را مانند هم در نظر گرفتن کار درستی نیست. مثل این است که سگ و شیر و راسو و خرس و کفتار و پاندا و سمور را در یک دسته قرار دهیم چون

---

۱ Asdic

۲ Sonar

۳ RDF

۴ راهیابی با پژواک

همه گوشت‌خوارند. خفاش‌های مختلف از سونار به روش‌های کاملاً متفاوتی استفاده و به نظر می‌رسد هر کدام جداگانه و مستقل از گروه‌های دیگر آن را ایجاد کرده‌اند، درست همان‌طور که کشورهای انگلیس، آلمان و آمریکا هر کدام به‌طور مستقل رادار ساختند. این‌طور نیست که همه خفاش‌ها از پژواک برای یافتن مسیر استفاده کنند. خفاش‌های گرمسیریِ نیم‌کره‌ی شرقی، بینایی خوبی دارند و اکثراً با استفاده از چشم‌شان راه را پیدا می‌کنند. فقط یکی دو نوع از خفاش‌های میوه، مثل روزتوس‌ها[1]، در تاریکی مطلق، در آن‌جا که از قوی‌ترین چشم‌ها هم کاری برنمی‌آید از پژواک‌صدا استفاده می‌کنند ولی سیستمی که آن‌ها به کار می‌برند ابتدایی‌تر از سیستم خفاش‌های کوچک مناطق معتدل است که برای ما آشناترند. خفاش روزتوس با زبانش صدای کلیک مانند بلند و آهنگداری تولید می‌کند و با اندازه‌گیری زمان بین تولید صدا و رسیدن پژواک‌آن، پرواز می‌کند. بخش زیادی از کلیک روزتوس‌ها برای ما کاملاً قابل شنیدن است (که ما آن را صوت می‌نامیم و در مقابل آن مافوق صوت قرار دارد: مافوق صوت همان صوت است ولی شدت آن به‌قدری زیاد است که ما انسان‌ها نمی‌توانیم آن را بشنویم).

براساس اصول نظری، هر چه شدت ارتعاش صدا بیش‌تر باشد، بهتر می‌توان با پژواک‌آن مسیر را تشخیص داد. به همین دلیل صداهای بم که طول موج‌شان زیاد است، تفاوتِ مکانِ اجسام نزدیک به هم را خوب مشخص نمی‌کنند. بنابراین در شرایطی که عوامل دیگر یکسان باشد موشکی که با پژواک‌صدا هدایت می‌شود، در شرایط آرمانی صدایی با ارتعاش بسیار زیاد تولید می‌کند. صدای بیش‌تر خفاش‌ها چنان ارتعاش زیادی دارد که برای انسان قابل شنیدن نیست، یعنی مافوق صوت است. برخلاف روزتوس که خوب می‌بیند و از صداهایی با ارتعاش نسبتاً کمتر به عنوان مکملی برای بینایی‌اش استفاده می‌کند، خفاش‌های کوچکتر، از نظر تکنولوژی راداری، دستگاه‌های پژواکی بسیار پیشرفته به نظر می‌رسند. آن‌ها چشمان ریزی

[1] Rousettus

دارند که در اکثر موارد احتمالاً چیز زیادی نمی‌بینند و در دنیایی از پژواک‌ها زندگی می‌کنند و احتمالاً برای مغزشان استفاده از پژواک صدا معادل استفاده از دیدن تصاویر برای ما است، گرچه برای ما تقریباً تصور این‌که آن تصاویر چگونه‌اند غیرممکن است. صدای آن‌ها کم بلند نیست، مثلاً مانند زوزه یک سگ قلدر نیست، که بشود آن را شنید. در اکثر موارد صدای آن‌ها خیلی بالاتر از بالاترین نُتی است که انسانی شنیده باشد یا بتواند تصورش را بکند. خوشبختانه ما آن صداها را نمی‌شنویم چون بسیار قوی‌اند و ممکن است ما را کر کنند و شاید اگر آن‌ها را می‌شنیدیم دیگر نمی‌توانستیم بخوابیم.

این خفاش‌ها مانند هواپیماهای جاسوسیِ ریزی هستند که با سیستم‌های پیشرفته آماده جنگ‌اند. مغز آن‌ها بسته‌های دقیق و هوشمندی است و با نرم‌افزارهای برنامه‌ریزی شده‌ی حساسی که دارد می‌تواند جهانی از پژواک‌ها را رمزگشایی کند. چهره اغلب آن‌ها بدشکل و غیرمعمول است و تا وقتی ندانیم برای چه آن طور است به نظر ما عجیب و غریب می‌رسند. آن‌ها ابزارهای کاملاً شکل‌گرفته‌ای برای پراکندن امواج مافوق صوت در جهت‌های مورد نظراند.

گرچه ما پالس‌های مافوق صوت این خفاش‌ها را به‌طور مستقیم نمی‌شنویم، ولی با استفاده از دستگاهی به نام خفاش‌یاب[۱] تقریباً می‌توانیم درک کنیم چه اتفاقی رخ می‌دهد. این دستگاه امواج را از طریق میکروفون مخصوص مافوق صوت می‌گیرد و هر پالس را به یک کلیک قابل شنیدن یا به آوایی که از طریق گوشی بتوانیم بشنویم تبدیل می‌کند. اگر دستگاه خفاش‌یاب را به فضای بازی که در آن خفاشی در حال گشتن و یافتن غذا است ببریم، صداهایی را که از آن خفاش فرستاده می‌شود می‌شنویم، گرچه معلوم نیست در واقعیت آن صداها چطور باشند؟ اگر خفاش مورد نظر میوتیس-[۲]، یکی از معمولی‌ترین خفاش‌های کوچک قهوه‌ای رنگ و در یک

---

۱ Bat vetectors

۲ Myotis

گردش عادی در پرواز باشد صدای آهسته کلیک‌ها را با بسامد ده بار در ثانیه می‌شنویم این تقریباً سرعت صدای یک دورنگار معمولی یا مسلسل برن است.

احتمالاً تصویر محیطی که خفاش دارد در آن دور می‌زند به صورت برش‌هایی با سرعت ده بار در ثانیه در آمده است. ظاهراً تصاویر دیداری خود ما هم تا وقتی چشم‌مان باز است مدام در حال تغییر است. می‌توانیم با استفاده از استروبوسکوپ[۱] در شب، تصویری از این‌که جهان متناوب چگونه است داشته باشیم. گاهی در دیسکوتک‌ها این کار را انجام می‌دهند تا فضای پرهیجان‌تری ایجاد کنند. بدیهی است که هر چه سرعت دستگاه بیش‌تر باشد، تصاویر ایجاد شده به آن شکل طبیعی که با چشم دیده می‌شود نزدیک‌تر خواهد بود. تصویر استروبوسکوپی از خفاش در حال پرواز با سرعت ده بار در ثانیه تقریباً مانند طرز عادی چیزهاست، البته نه سرعتی که برای گرفتن توپ یا حشره لازم است.

این فقط نمونه‌گیری از سرعت خفاش در یک گردش عادی شبانه است. وقتی خفاش قهوه‌ای حشره‌ای پیدا کند و به طرفش برود، سرعت کلیک‌ها زیاد و سریع‌تر از صدای مسلسل می‌شود، ممکن است به دویست صدا در ثانیه برسد تا این‌که بالاخره به هدف در حال حرکتش برسد. برای نمایش این صحنه باید ما سرعت استروبوسکوپ‌مان را طوری زیاد کنیم که دو برابر سرعت چرخه‌ی برق اصلی شود که در لامپ‌های فلوئورسان قابل ملاحظه نیست. معلوم است که در دیدن عادی، ما مشکل نداریم، حتی وقتی در جهانی پر از تناوب‌های سریع دیداری اسکوآش یا پینگ‌پونگ بازی می‌کنیم. اگر فرض کنیم در مغز خفاش تصویری قابل مقایسه با تصاویری که ما می‌بینیم ایجاد می شود، از سرعت پالس‌ها می‌شود فهمید که تصویر ذهنی خفاش هم حداقل به همان پیوستگی و مفصلی تصویری است که در چشم ما ایجاد می‌شود البته ممکن است به دلایل دیگری تصویری که در ذهن آن‌ها ایجاد می‌شود به پُر شاخ و برگی تصاویر دیداری ما نباشد.

---

۱ stroboscope

خوب، اگر خفاش‌ها می‌توانند سرعت تکرار صدا را به دویست بار در ثانیه برسانند، چرا همیشه از این سرعت استفاده نمی‌کنند؟ اگر استروبوسکوپ‌شان دکمه کنترل دارد چرا همیشه آن را روی درجه حداکثر قرار نمی‌دهند تا بیش‌ترین هشیاری را نسبت به جهان اطرف داشته و آماده برخورد با هر شرایط خاص باشند. یک دلیل این است که سرعت‌های بالا مختص هدف‌های نزدیک‌اند. اگر پالسی درست بعد از پالس دیگر فرستاده شود ممکن است با پژواک پالس اول که از یک مانع دورتر برگشته اشتباه گرفته شود. حتی اگر این‌طور نباشد، احتمالاً به دلایل اقتصادی دیگری همیشه از حداکثر سرعت استفاده نمی‌کنند. تولید پالس‌های بلندِ مافوق صوت پرهزینه است، پرهزینه از نظر انرژی، از نظر به کار گرفتن گوش و صدا و شاید پرهزینه از نظر محاسبه زمان. مغزی که دویست پژواک متفاوت را باید در ثانیه پردازش کند، دیگر فرصتی برای فکر کردن به چیز دیگری نخواهد داشت. حتی سرعت ده پالس در ثانیه هم پرهزینه است ولی از سرعت حداکثر یعنی دویست پالس در ثانیه هزینه کمتری دارد. وقتی خفاش سرعت پالس‌ها را بالا می‌برد، بهایش را با مصرف انرژی و چیزهای دیگر خود می‌پردازد که در مقابلِ دقتِ بیش‌تری که در سونار ایجاد می‌شود به صرفه نیست. وقتی تنها چیز پرنده در آن دور و بر فقط خود خفاش باشد، دنیای مقابل شبیه برش‌هایی از دهم ثانیه است و لزومی ندارد که بریده‌بریده‌تر شود. اما وقتی در فضای مورد نظر چیز جنبنده‌ی دیگری مخصوصاً حشره‌ای وجود داشته باشد که چرخ‌زنان دور می‌زند و می‌پَرد تا از شکارچی‌اش دور شود، خفاش از زیاد کردن پالس سودی می‌برد که به هزینه‌اش می‌ارزد. گرچه در استفاده از کلمات هزینه و سود در این پاراگراف از تشبیه استفاده کرده‌ایم ولی یقیناً چیزی تقریباً معادل آن‌ها باید در کار باشد.

مهندسی که در فکر طراحی یک ابزار رادار یا سونار باکیفیت خود باشد، خیلی زود متوجه یک مشکل می‌شود و آن، مشکل ایجاد کردن پالس‌های بسیار بلند است.

پالس باید بلند باشد چون وقتی صدایی پخش می‌شود، امواج آن به صورت کُره بزرگ شونده‌ای پیش می‌روند و از تراکم صدا کاسته می‌شود، به عبارتی شدت صدا در تمام سطح کُره رو به ضعف می‌گذارد. سطح کره تناسبی با مربع شعاع آن دارد. بنابراین وقتی امواج پیش می‌روند و کره بزرگ‌تر می‌شود، شدت صدا در هر نقطه از کره، نه به نسبت فاصله آن از مرکز (شعاع)، بلکه متناسب با مجذور فاصله‌ی آن از منبع صدا، کم می‌شود. یعنی وقتی صدا از منبع، که در این‌جا خفاش است، دور می‌شود به سرعت رو به خاموشی می‌گذارد.

وقتی صدای ضعیف شده به چیزی، مثلاً یک مگس، برخورد کند، برمی‌گردد. حالا صدای بازگشته باز با امواج کُروی از مگس دور می‌شود و به همان دلیل قبلی به نسبت مجذور فاصله‌اش از مگس ضعیف می‌شود. وقتی صدای بازگشته به خفاش می‌رسد، کم شدن شدت آن، نه با فاصله مگس از خفاش و نه حتی با مجذور این فاصله، بلکه با چیزی بیش‌تر یعنی مجذور مجذور یا توان چهارم آن فاصله تناسب دارد. یعنی می‌شود گفت بسیار ضعیف شده است.

اگر خفاش صدا را به وسیله چیزی بلندگو مانند بفرستد، در صورتی که جهت هدف را بداند، می‌تواند تا حدی بر این مشکل غلبه کند. بنابراین اگر قرار باشد که خفاش همه پژواک ها را، از هدف‌های دور دریافت کند باید صدایی که می‌فرستد خیلی بلند باشد و وسیله‌ای که با آن پژواک را می‌گیرد، یعنی گوش، خیلی به صداهای ضعیف – پژواک‌ها – حساس باشد. همان‌طور که دیده‌ایم فریاد خفاش خیلی بلند و شنوایی‌اش خیلی تیز است.

در این‌جا نیز در مقابل مهندسی که می‌خواهد دستگاه خفاش‌مانندی بسازد مشکل دیگری قد علم می‌کند. در صورتی که میکروفون یا گوش تا آن اندازه حساس باشد، برایش این خطر وجود دارد که از صدای بلند خودش آسیب ببیند. اگر بخواهد صدا را ضعیف کند باز مشکل حل نمی‌شود چون در آن صورت صدای پژواک

ضعیف شده و شنیده نمی‌شود. با حساس‌تر کردن گوش هم این مسئله پیش می‌آید که گوش آسیب‌پذیر می‌شود. این مسئله در تفاوت شدت صدای رفت و برگشت وجود دارد و تفاوتی است که قوانین انعطاف‌ناپذیر فیزیک تحمیل می‌کنند.

چه راه‌حل دیگری ممکن است به ذهن مهندس ما برسد؟ وقتی طراحان رادار در جنگ جهانی دوم با چنین مشکلی مواجه شدند، به فکر استفاده از چیزی که رادار «فرستنده – گیرنده» نام گرفت افتادند. اگر علایم رادار به صورت پالس‌های بسیار قوی فرستاده می‌شدند، ممکن بود به آنتن‌های بسیار حساس آمریکایی که منتظر دریافت پژواک‌های ضعیف بودند آسیب برساند. مدار دستگاه فرستنده – گیرنده قبل از فرستادن پالس به‌طور موقت آنتن دستگاه گیرنده را قطع می‌کرد و بعد در زمان مناسب برای دریافت پژواک آن را وصل می‌نمود.

خفاش‌ها در زمان‌های خیلی دور، شاید میلیون‌ها سال پیش از آن‌که اجداد ما از درخت پایین بیایند این تکنولوژی قطع و وصل «گیرنده – فرستنده» را ساخته بودند. طرز کار آن این‌طور است که در گوش خفاش، مثل گوش ما آدم‌ها، صدا از پرده گوش به وسیله سه استخوان کوچک، که به خاطر شکل‌شان، سندانی، چکشی و رکابی نام گرفته‌اند، به سلول‌های حساس و بزرگ‌کننده صدا منتقل می‌شود. بالا رفتن و حرکت این استخوان‌ها طوری است که انگار یک مهندس متخصص تنظیم صدا، آن‌ها را برای تنظیم شدت صوت طراحی کرده است ولی داستان چیز دیگری است. آن‌چه در این‌جا اهمیت دارد این است که در بعضی خفاش‌ها ماهیچه‌های درشتی به استخوان‌های رکابی و چکشی چسبیده است. وقتی این ماهیچه‌ها منقبض می‌شود، این استخوان‌ها صدا را خوب منتقل نمی‌کنند، مثل این است که با گذاشتن انگشت شست روی صفحه مرتعش میکروفون صدای آن را خاموش کرده باشید. خفاش می‌تواند با استفاده از این ماهیچه‌ها موقتاً گوشش را خاموش کند. ماهیچه‌ها قبل از این‌که خفاش صدایی بیرون بدهد سریعاً منقبض می‌شوند. به این ترتیب گوش را روی دکمه خاموش قرار می‌دهند تا از صدای بلند آسیب نبینند. بعد از

انقباض خارج و رها می‌شوند تا گوش حداکثر حساسیتش را برای دریافت پژواک داشته باشد. این سیستم روشن خاموش «فرستند – گیرنده» فقط در صورتی کار می‌کند که در آن دقت در نگهداری زمان بسیار بالا باشد. خفاشی به نام *تادارید* Tadarida می‌تواند ماهیچه‌اش را پنجاه بار در ثانیه منقبض و منبسط کند و همزمانی کاملی با پالس‌های مافوق صوت مسلسل‌مانند داشته باشد. نگه داشتن این زمان، کار مشکلی است و قابل مقایسه با حقه هوشمندانه‌ای است که در جنگ جهانی دوم در بعضی هواپیماهای جنگنده به کار می‌رفت. مسلسل از بین پره‌های هواپیما شلیک می‌کرد و آن‌چنان با گردش پروانه هماهنگ شده بود که همیشه گلوله از بین پره رد می‌شد و هرگز به آن اصابت نمی‌کرد.

مسئله دیگری که اکنون شرح می‌دهم نیز ممکن است به ذهن مهندس ما برسد. اگر با استفاده از سونار فاصله بین هدف‌ها را با سنجش زمان سکوت بین ایجاد صدا و برگشت آن اندازه می‌گیرند – روشی که «روزتوس‌ها» از آن استفاده می‌کنند – پس پالس‌های صدا باید کوتاه و منقطع باشد. صدای بلند در حالی که پژواکش برگشته همچنان به رفتن ادامه می‌دهد و حتی اگر به وسیله ماهیچه فرستنده – گیرنده کوتاه و کم شود در دریافت پژواک صدا اختلال ایجاد می‌کند. به نظر می‌رسد در شرایط آرمانی باید ضربان صدا از نظر زمانی کوتاه باشد. ولی هر چه صدا کوتاه‌تر باشد، پر انرژی کردن آن برای این‌که پژواک مناسب تولید کن سخت‌تر است. ظاهراً قوانین فیزیکی گرفتاری دیگری را هم به ما تحمیل کرده‌اند. مهندس متفکر ما ممکن است دو راه‌حل به ذهنش برسد که درواقع به ذهن مهندسانی که در رادار با این مشکل مواجه شده‌اند رسیده است. ولی این‌که کدام یک از این دو روش بهتر است بسته بدان است که آیا مهم‌تر این است که دامنه (فاصله شیء از وسیله) را اندازه بگیریم یا شتاب (سرعتی که شیء در حال حرکت نسبت به وسیله دارد) آن را. راه نخست را مهندسین رادار با نام رادار جیغ‌زن (chirp radar) می‌شناسند.

می‌توان علایم رادار را یک سری صدا در نظر گرفت به‌طوری‌که هر صدا تناوب

خاص خود را داشته باشد. این با شدت در صداهای عادی و مافوق صوت قابل قیاس است. دیده‌ایم خفاش جیغ می‌کشد و صدایی در دهم و یا صدم ثانیه تکرار می‌شود. هر یک از آن صداها تناوبی برابر با ده‌ها تا صدها هزار چرخه در ثانیه دارد. به عبارتی، هر پالس یک جیغ با شدت بالاست. به طریق مشابه هر پالس رادار یک جیغ امواج رادیویی است که تناوب زیادی دارد. ویژگی خاص رادار جیغ‌زن این است که در هر جیغ تناوب آن حدود یک اکتاو بالا و پایین می‌شود. اگر بخواهید یک معادل صدایی برای آن در نظر بگیرید، هر رادار فرستاده شده را می‌شود معادل صدای پایین رونده زوزه گرگ در نظر گرفت. برتری رادار جیغ‌زن در مقابل صداهایی با شدت ثابت این است: اگر هنگام بازگشت پژواک، صدای اصلی همچنان ادامه داشت اشکالی ایجاد نمی‌شود. یعنی این دو صدا تداخل نمی‌کنند. زیرا در هر لحظه پژواک انعکاسی از صدای قبلی است و شدت خاص خودش را دارد.

طراحان رادار از این تکنیک بسیار بهره برده‌اند. آیا دلیلی وجود دارد که نشان دهد خفاش‌ها هم آن را درست مانند سیستم «فرستنده – گیرنده» کشف کرده‌اند؟ حقیقت این است که انواع زیادی از خفاش‌ها فریادهایی تولید می‌کنند که معمولاً تا یک اکتاو نوسان پایین رونده دارد. این نوع فریادهای زوزه گرگ مانند را بسامد متغیر[1] (FM) می‌نامند. این‌ها ظاهراً درست همان چیزی‌اند که برای استفاده از تکنیک رادار جیغ‌زن لازم است. اما تاکنون شواهد حاکی از آن است که خفاش از این روش نه برای تشخیص صدای پژواکِ آن صدایی که تولید کرده، بلکه برای کاری ساده‌تر یعنی تشخیص یک پژواک از دیگر پژواک‌ها استفاده می‌کند. خفاش در جهانی پر از پژواک‌های برگشته از اشیاء دور و نزدیک زندگی می‌کند و باید بین پژواک‌ها تفاوت بگذارد. اگر پژواکی پایین رونده مانند زوزه گرگ باشد، آن را به راحتی از روی شدتش تشخیص می‌دهد. وقتی پژواکی از یک شی دور به خفاش می‌رسد، قدیمی‌تر از پژواکی است که همزمان با آن به خفاش رسیده ولی از شی

[1] Frequency Medulated (FM)

نزدیک‌تری برگشته است. پژواک قدیمی‌تر شدت بیش‌تری دارد. وقتی خفاش با پژواک‌هایی از چند شی مختلف روبروست از این قاعده ساده که شدت بیش‌تر یعنی فاصله بیش‌تر استفاده می‌کند.

دومین فکر هوشمندانه‌ای که ممکن است به ذهن مهندس ما برسد، مخصوصاً اگر علاقه‌مند به اندازه‌گیری سرعت چیزهای در حال حرکت باشد، این است که از چیزی که فیزیک‌دان‌ها به آن «جابجایی دوپلر»[۱] می‌گویند استفاده کند. می‌شود اسم آن را اثر آمبولانس[۲] هم گذاشت چون آشناترین صورت آن در بوق آمبولانس است که وقتی با سرعت از کنار کسی رد می‌شود به نظر می‌رسد صدا افت پیدا کرده است. این پدیده وقتی رخ می‌دهد که منبع صدا (یا نور یا هر نوع موج دیگری) و گیرنده صدا نسبت به یکدیگر در حرکت باشند. راحت‌تر این است که منبع صدا را بی‌حرکت و شنونده را در حال حرکت در نظر بگیریم. آژیر روی بام یک کارخانه را تصور کنید که صدای پیوسته و یکنواختی دارد. صدا به صورت یک سری موج پخش می‌شود این امواج را نمی‌شود دید چون امواج تراکم هوا هستند. اگر دیده می‌شدند، به شکل دایره‌های متحدالمرکزی بودند که به اطراف گسترده می‌شدند، مثل وقتی‌که سنگریزه‌ای در آب ساکن یک برکه بیندازند. فرض کنید پشت سر هم چند سنگریزه به داخل برکه پرتاب شود طوری‌که امواج مدام پخش شوند، حالا اگر قایق کوچکی را در نقطه خاصی از آن برکه نگه داریم وقتی موج‌ها از زیرش رد شوند قایق بالا و پایین می‌رود. بسامد بالا و پایین شدن آن قایق قابل قیاس با شدت صوت است. حالا فرض کنید که قایق به جای این‌که به جایی بسته شده باشد، در حال حرکت در جهت مرکز امواج در آن آبگیر باشد. باز هم وقتی به هر موج برمی‌خورد بالا و پایین می‌رود. اما حالا بسامد برخورد با موج‌ها بیش‌تر است چون دارد به مرکز آن نزدیک می‌شود. سرعت بالا و پایین رفتن هم بیش‌تر است. ولی وقتی از مرکز امواج رد

---

۱ Doppler shift

۲ Ambulace effect

شود، بدیهی است که از بسامد بالا و پایین رفتنش کاسته می‌شود.

به همین دلیل اگر ما سوار بر دوچرخه‌ی موتوری (ترجیحاً بی‌صدا) از کنار آژیر یک کارخانه بگذریم وقتی‌که به کارخانه نزدیک می‌شویم شدت صدا زیاد می‌شود. درواقع گوش صدا را، نسبت به وقتی‌که بی‌حرکت بودیم، سریع‌تر می‌گیرد. و به همین دلیل وقتی موتور ما از کنار کارخانه رد شود و از آن فاصله بگیرد شدت صدا پایین می‌آید. اگر از حرکت بایستیم شدت صدای آژیر را آن طور که هست می‌شنویم، چیزی متوسط بین دو شدت متفاوت دوپلر. یعنی اگر ما شدت دقیق صدای آژیر را بدانیم، از نظر تئوری ممکن است با گوش دادن به آن شدت و مقایسه آن با شدت اصلی بتوانیم محاسبه کنیم که داریم با چه سرعتی به آن نزدیک یا از آن دور می‌شویم.

همین اصل در موردی که منبع صدا در حال حرکت و شنونده ثابت باشد نیز صادق است. نمونه‌اش را در آمبولانس می‌بینیم. می‌گویند خود *کریستین دوپلر* این پدیده را با آوردن و به کار گرفتن یک گروه شیپورچی روی ریل راه‌آهن در فضای باز وقتی قطار به سرعت رد می‌شد نشان داده است. نسبت حرکت مهم است و در مورد اثر دوپلر این‌که گوش از مقابل منبع صدا حرکت کند یا منبع صدا از کنار گوش بگذرد تفاوتی وجود ندارد. اگر دو قطار در جهت مقابل از کنار هم با سرعت ۱۲۵ کیلومتر در ساعت بگذرند، مسافری که در قطار است صدای پایین رونده قطار دیگر را از طریق جابجایی دوپلر خاصی شدیدتر خواهد شنید چون سرعت نسبی، دویست و پنجاه کیلومتر در ساعت است.

پلیس از اثر دوپلر در رادارهای کنترل سرعت، رانندگان استفاده می‌کند. یک وسیله ثابت امواج رادار را در جاده می‌فرستند امواج رادار پس از برخورد به اتومبیلی که در حال نزدیک شدن است برمی‌گردد و به وسیله دستگاه گیرنده ثبت می‌شود. هر چه سرعت ماشین بیش‌تر باشد، تغییر دوپلر بیش‌تر خواهد بود. پلیس یا

درواقع دستگاهِ او با مقایسه بسامد موج فرستاده شده و بسامد پژواک‌آن می‌تواند سرعت ماشین را محاسبه کند. حالا که پلیس از این پدیده برای اندازه‌گیری سرعت رانندگان خودخواه در جاده استفاده می‌کند، شاید خفاش هم از آن برای اندازه‌گیری سرعت حرکت حشره‌ی طعمه خود استفاده کند؟

آری همین‌طور است. مدت‌هاست معلوم شده خفاش‌های کوچک که به خفاش‌های نعلی[۱] معروف‌اند به جای صداهای منقطعِ کلیک مانند یا صدای پایین رونده زوزه گرگی، صداهایی طولانی با شدت یکنواخت تولید می‌کنند. وقتی می‌گوییم طولانی، منظورم طولانی با معیار خفاش‌هاست. جیغ آن‌ها کمتر از یک دهم ثانیه طول می‌کشد و همان‌طور که خواهیم دید، اغلب به آخر فریادشان صدایی شبیه زوزه گرگ هم اضافه می‌کنند. ابتدا فرض کنید یک خفاش نعل اسبی در حالی که به سرعت به طرف شیء ثابتی، مثلاً یک درخت، در پرواز است جیغ مافوق صوت یکنواختی تولید کند. چون حرکت خفاش رو به درخت است، امواج صدا با سرعت زیاد شونده‌ای به درخت برخورد می‌کنند. اگر در درخت میکروفون پنهان باشد صوت را به شکل تغییر یافته و با شدت بیش‌تر می‌شنود زیرا حرکت خفاش به طرف درخت است. در درخت میکروفون نیست اما پژواک منعکس شده از درخت اثر دوپلر تغییر یافته و بنابراین شدت زیاد شونده‌ای خواهد داشت. در زمانی که امواج منعکس شده از طرف درخت به خفاش که در حال نزدیک شدن است می‌رسند خفاش همچنان به طرف آن‌ها در حرکت است. بنابراین در دریافتی که خفاش از آن پژواک دارد شدت افزایش یافته است. حرکت خفاش باعث جابجایی دوپلر مضاعف می‌شود و اندازه آن شاخص دقیقی برای سرعت خفاش نسبت به درخت است. به این ترتیب خفاش (یا بهتر بگوییم کامپیوتر فعال در مغزش) با مقایسه کردن شدت فریاد با شدت پژواک‌آن، سرعت حرکت‌اش نسبت به درخت را محاسبه می‌کند. گرچه با این کار فاصله تا درخت را پیدا نمی‌کند، با وجود این اطلاعات مفیدی به

---

۱ Horseshoe bats

دست می‌آورد.

اگر چیزی که صدا را برمی‌گرداند، نه یک درخت ثابت بلکه یک حشره در حال حرکت باشد، نتیجه دوپلر پیچیده‌تر می‌شود. اما باز خفاش می‌تواند سرعت حرکت نسبی بین خود و هدفش را محاسبه کند و این درست همان نوع اطلاع است که موشک هدایت‌شوند پیشرفته‌ای مثل خفاش شکارچی ما لازم دارد. در عمل بعضی خفاش‌ها حقه‌ای می‌زنند که خیلی جالب‌تر از این است که فقط صدا را بفرستند و شدت پژواک آن را اندازه بگیرند. با زیرکی شدت صدای تولید شده را طوری تنظیم می‌کنند که شدت صدای پژواک را بعد از «جابجایی دوپلر شدن یکسان (ثابت)» نگه‌دارند. وقتی با سرعت به حشره‌ای که در حال حرکت است نزدیک می‌شوند، شدت صدای‌شان مدام تغییر می‌کند و کاری می‌کنند که شدت پژواک بازگشته یکسان باشد. با این کلکِ هوشمندانه باعث می‌شوند شدت پژواک را در آن حدی که گوششان بیش‌ترین حساسیت را دارد نگه دارند. این برای خفاش‌ها خیلی مهم است چون پژواک‌ها بسیار ضعیف‌اند. به این ترتیب با تنظیم شدت صوت جیغ‌شان و دریافت پژواکی با شدت ثابت، اطلاعات لازم را برای محاسبه دوپلر به دست می‌آورند. نمی‌دانم در وسایل رادار یا سونار ساخته انسان هم از این کلک استفاده می‌کنند یا خیر. از آن‌جا که در این زمینه هوشمندانه‌ترین ابتکارها ابتدا از آن خفاش‌هاست، اصراری ندارم روی مثبت بودن جواب شرط ببندم.

هرکدام از این دو تکنیک نسبتاً متفاوت، جابجایی دوپلر و رادار جیغ‌زن، مناسب اهداف متفاوت‌اند. بعضی از انواع خفاش‌ها در استفاده از یکی مهارت دارند و بعضی در دیگری. بعضی هم ظاهراً از هر دو پدیده استفاده می‌کنند. یعنی یک زوزه گرگ (FM) به انتها (یا گاهی ابتدای) فریاد طولانی و با شدت ثابت خود وصل می‌کنند. یک کلک دیگر خفاش‌های نعل اسبی، حرکت دادن پره گوش بیرونی است. این خفاش‌ها بر خلاف خفاش‌های دیگر گوششان را به سرعت به جلو و عقب حرکت می‌دهند. طبیعی است که با حرکت دادن سریع سطح شنوایی که بیش‌تر شده

نسبت به هدف باعث تغییر دلخواه جابجایی دوپلر شده و این تغییر اطلاعات مورد نیاز را در اختیارشان قرار می‌دهد. وقتی گوش در جهت هدف حرکت می‌کند، سرعت حرکت به سوی هدف بیش‌تر می‌شود. وقتی در جهت دور از هدف حرکت می‌کند، عکس آن رخ می‌دهد. مغز خفاش با تشخیص جهت در حرکت گوش‌ها می‌تواند اطلاعات مورد نیاز خود را با استفاده از محاسبات لازم به دست آورد.

شاید مهم‌ترین مشکلی که هر خفاش با آن مواجه است، تداخل صدایش با صدای خفاش‌های دیگر باشد. کسانی که در این مورد آزمایش کرده‌اند با کمال تعجب متوجه شده‌اند که نمی‌توان به راحتی با تولید امواج مصنوعی مافوق صوت خفاش‌ها را از مسیر مورد نظرشان منحرف نمود. شاید با مشاهده دقیق آن‌ها می‌شد به این نتیجه رسید. خفاش‌ها مدت‌هاست که با مشکل تداخل صداها به نحوی کنار آمده‌اند. انواع زیادی از خفاش‌ها به تعداد زیاد در غارها جمع می‌شوند که باید مجمع کَر کننده‌ای از انواع صداهای مافوق صوت باشد. با این حال در تاریکی محض بدون این‌که به دیگر خفاش‌ها یا دیوارهای غار برخورد کنند پرواز می‌نمایند. چگونه خفاش پژواک خودش را تشخیص و پژواک‌های دیگر گمراهش نمی‌کنند؟ اولین پاسخی که ممکن است به ذهن یک مهندس برسد این است که بسامد صدای خود را نوعی رمزگذاری می‌کند. هر خفاش درست مثل ایستگاه‌های رادیویی متفاوت احتمالاً فرکانس خاص خودش را دارد. ممکن است تا حدی این‌طور باشد ولی این همه ماجرا نیست. این‌که چگونه خفاش‌ها به یکدیگر برخورد نمی‌کنند خوب مشخص نیست ولی از آزمایش‌هایی که برای منحرف کردن مسیر خفاش‌ها انجام گرفته‌اند سرنخ‌های جالبی به دست آمده است. معلوم شده است که می‌توان بعضی خفاش‌ها را با تولید صدایی مانند صدای خودشان و با ایجاد یک وقفه مصنوعی به اشتباه انداخت، یعنی با دادن پژواک ساختگی از صدای خودشان به آن‌ها. حتی ممکن است با کنترل دقیق آن دستگاهی که پژواک مصنوعی تولید می‌کند، کاری کرد که خفاش‌ها در جای خاصی فرود بیایند. به نظرم این کار برای خفاش معادل نگاه

کردن ما به جهان از پشت عدسی است.

به نظر می‌رسد خفاش‌ها از چیزی استفاده می‌کنند که می‌توانیم آن را «غربال ناآشنایی[۱]» بنامیم. هر پژواک برای خفاش تصویری ایجاد می‌کند که در چارچوبی که پژواک‌های قبلی برایش از جهان ساخته‌اند قابل تفسیر است. پژواک یک خفاش دیگر برای مغز او معنی و مفهومی ندارد. ظاهراً برای او طوری است که گویی ناگهان هر چیز در جهان به این طرف و آن طرف پرتاب شده باشند، که البته در جهان واقعی اشیاء چنین رفتار دیوانه‌واری ندارند. بنابراین مغز خفاش آن پژواک‌ها را به عنوان صداهای محیط کنار می‌گذارد. اگر در آزمایشی به‌طور ساختگی از صدای خود خفاش پژواک‌هایی با وقفه یا سریع‌شده برایش بفرستند، چنین پژواکی در جهانی که آن خفاش برای خود ساخته معنی‌دار است. آن پژواک ساختگی از غربال ناآشنایی رد می‌شود زیرا با پژواک‌های قبلی تناسبی دارد. فقط به نظر او می‌رسد اشیاء محیط اطراف کمی جابجا شده‌اند که این در جهان واقعی کم و بیش رخ می‌دهد. مغز خفاش بر این فرض تکیه دارد که هر پژواک جهانی تصویر می‌کند که شبیه تصویر ساخته شده از پژواک‌های قبلی است یا کمی با آن تفاوت دارد، مثلاً حشره‌ای که دنبالش است کمی آن طرف‌تر رفته است.

فیلسوفی به نام *توماس ناگل*[۲] مقاله معروفی دارد به نام «خفاش بودن چگونه است؟» این مقاله بیش‌تر از آن‌که درباره خفاش باشد درباره مشکل فلسفی تصور کردن چیزی است که آن نیستیم. دلیل این‌که خفاش به عنوان مثال انتخاب شده این است که ظاهراً مکان‌یابی خفاش از طریق پژواک کاملاً متفاوت از ما انسان‌هاست. اگر بخواهیم در تجارب خفاش سهیم شویم، یقیناً رفتن به داخل غار، داد زدن و یا زدن دو قاشق به یکدیگر و هشیارانه اندازه گرفتن زمان درنگ تا رسیدن صدای پژواک و از روی آن محاسبه کردن فاصله تا دیوار کاملاً کار بیهوده‌ای است.

---

۱ Strangeness filter

۲ Thomas Nagel

تصور ما از خفاش بودن به طریق فوق مثل این است که بخواهیم به طریق زیر تصوری از رنگ داشته باشیم. با وسیله‌ای طول موج نوری را که به چشم وارد می‌شود اندازه بگیریم اگر طول موج زیاد بود بگوییم رنگ قرمز است و اگر کوتاه بود بگوییم رنگ بنفش یا آبی است. این یک واقعیت فیزیکی است که نوری که قرمز نامیده می‌شود طول موج طولانی‌تری از نوری که آبی نامیده می‌شود دارد. طول موج‌های متفاوت سلول‌های حساس به نور متفاوتی را در شبیکه ما متأثر می‌کنند ولی در حس درونی ما از رنگ اثری از طول موج نیست. برای ما درک تفاوت رنگ قرمز و آبی ربطی به طول موج ندارد. اگر در موردی طول موج برایمان مهم باشد (که معمولاً نیست) آن را به خاطر می‌سپاریم یا در کتابی دنبالش می‌گردیم (من این کار را می‌کنم). خفاش هم به همین صورت با استفاده از آن‌چه ما پژواک می‌نامیم متوجه جای حشره‌ای می‌شود. اما او هم یقیناً وقت شکار آن حشره به پژواک صدای خود و وقفه‌ای که با صدای اصلی دارد توجهی ندارد همان‌طور که ما وقت درک رنگ قرمز یا آبی به طول موج آن نمی‌اندیشیم.

راستش اگر من مجبور بودم این امر غیرممکن را امتحان کنم، یعنی خودم را به جای خفاش بگذارم، می‌گفتم برای آن‌ها یافتن جای چیزها از طریق پژواک مثل دیدن با چشم است برای ما. ما آن‌قدر از چشم استفاده می‌کنیم و به آن وابسته‌ایم که اصلاً به این‌که دیدن چه کار پیچیده‌ای است اصلاً فکر نمی‌کنیم. اشیاء دور و بر ما هستند و ما هم آن‌ها را می‌بینیم. اما من معتقدم درک ما حاصل از پردازش دقیق اطلاعاتی است که از بیرون وارد کامپیوتر مغز شده ولی البته این اطلاعات به صورتی تغییر یافته که برای مغز قابل استفاده باشد. در کامپیوتر مغز تفاوت در طول موج به صورت تفاوت در رنگ کُدگذاری شده است. شکل و ویژگی‌های دیگر هم به همین طریق به صورتی رمزگذاری می‌شود که پذیرفتن آن راحت‌تر باشد. برای ما حس دیدن خیلی با شنیدن فرق دارد ولی این فقط به خاطر تفاوت فیزیکی نور و صدا نیست. چون نور و صوت هر کدام به وسیله عضو مربوط به خود هر دو به

صورت «نوعی محرک عصبی» به مغز می‌رسند. غیرممکن است از روی ویژگی یک محرک عصبی بتوانیم بگوییم که اطلاعاتی را که دارد منتقل می‌کند در مورد نور است یا صدا یا بو. دلیل تفاوت زیاد حس دیدن با حس شنیدن یا بوییدن در این است که مغز ترجیح می‌دهد از صورت‌های دیگری از جهان دیداری، یعنی جهانِ شنوایی و بویایی نیز استفاده کند. چون ما از اطلاعات دیداری و اطلاعات شنیداری‌مان به روش‌های متفاوت و برای اهداف متفاوت استفاده می‌کنیم این دو حس بسیار متفاوت به نظر می‌رسند. تفاوت آن‌ها مستقیماً به دلیل تفاوت فیزیکی نور و صوت نیست.

ولی خفاش از اطلاعات صوتی‌اش درست به همان قصد استفاده می‌کند که ما از اطلاعات دیداری‌مان استفاده می‌کنیم. خفاش از صدا برای درک جای اشیاء در جهان سه بُعدی استفاده می‌کند، درست همان استفاده‌ای که ما از نور می‌کنیم. بنابراین پردازشگر ذهن او باید بتواند جای اشیاء را در جهان سه بعدی مشخص کند. منظورم این است که چگونگی درک درونی یک حیوان، خصوصیت پردازشگر او شمرده می‌شود و پردازشگر هر حیوان طوری تکامل یافته که به طرز مناسبی اطلاعات را پردازش کند، صرف نظر از این‌که آن محرک فیزیکی که اطلاعات را از جهان خارج برایش می‌فرستد چه باشد. ما و خفاش‌ها به مدل درونی یکسانی برای نمایش جای اشیاء در جهان سه بعدی نیاز داریم. این موضوع که خفاش‌ها مدل درونی‌شان را با کمک پژواک و ما با کمک نور می‌سازیم سخن بی‌ربطی است. در هر صورت اطلاعات جهان بیرون تبدیل به نوعی محرک عصبی شده به مغز می‌رسد.

بنابراین نظر من این است که خفاش‌ها هم به همان صورتی که ما می‌بینیم، می‌بینند گرچه در آن‌ها آن وسیله فیزیکی که اطلاعات جهان خارج را تبدیل به محرک عصبی می‌کند بسیار متفاوت، یعنی به جای نور، امواج مافوق صوت است. حتی ممکن است خفاش‌ها از حسی که ما رنگ می‌نامیم برای مقاصد خودشان استفاده کنند مثلاً با استفاده از آن تفاوت‌هایی را مشخص کنند که ربطی به طول

موج ندارد ولی برای آن‌ها همان‌قدر مهم است که رنگ برای ما اهمیت دارد. شاید بافت بدن خفاش نر طوری است که پژواکی که از آن برمی‌گردد در خفاش ماده احساسی معادل دیدن یک رنگ مطبوع و دلپسند ایجاد کند، چیزی معادلِ آواییِ پرهای رنگین «مرغ بهشت» هنگام جفت‌گیری است.

منظورم فقط بیان یک تشبیه مبهم نیست. ممکن است احساس درونی خفاش ماده هنگام دیدن خفاش نر به رنگ قرمز روشن باشد، همان حسی که از دیدن فلامینگو در من به وجود می‌آید. یا لااقل تفاوت بین احساس این خفاش ماده از دیدن جفتش با احساسی که من از دیدن فلامینگو پیدا می‌کنم، بیش‌تر از تفاوت احساسی که دیدن فلامینگو در من و دیدن فلامینگو در یک فلامینگوی دیگر ایجاد می‌کند نباشد.

دونالد گریفین داستانی دارد از اولین باری که در سال ۱۹۴۰ به اتفاق همکارش *روبرت گالامبوس* در همایشی از کشف جدیدشان و مکان‌یابی با پژواک در خفاش‌ها برای جانورشناسانِ حیرت زده صحبت کرده بود. یکی از دانشمندان صاحب نام آن‌قدر دلخور و خشمگین شده بود که:

> شانه‌ی *گالامبوس* را گرفته و تکان می‌داد و می‌گفت ما نباید هر نظر دور از عقلی را جدی بگیریم. رادار و سونار جزء تجهیزات پیشرفته ارتش‌اند و گفتن این‌که خفاش‌ها هم از چنین سیستمی استفاده می‌کنند که قابل قیاس با آخرین دستاوردهای مهندسی الکترونیک است، برای مردم قابل قبول نیست به علاوه توهین به آن‌ها است.

می‌شود احساس چنین صاحب نام مخالفی را درک کرد. یک چیز انسانی در عدم تمایل او به پذیرش این موضوع وجود دارد. چون درواقع به ما می‌گوید: انسان دقیقاً چیست. دقیقاً به این علت که حواس ما انسان‌ها نمی‌تواند کارهایی را که خفاش می‌کند انجام دهد برای ما باور کردن کار آن‌ها مشکل است. چون ما کار آن‌ها را در حد ابزارسازی مصنوعی یا با محاسبات ریاضی روی کاغذ می‌توانیم درک کنیم، برای

ما تصور این‌که حیوان کوچکی آن را در مغزش انجام دهد بعید به نظر می‌رسد. محاسبات ریاضی که برای بیان اصول دیدن لازم‌اند نیز به همان اندازه مشکل و پیچیده‌اند ولی هیچ‌کس در باور این‌که حیوانات کوچک می‌توانند ببینند شک نمی‌کند. دلیل این یک بام و دو هوا بودن روشن است، ما می‌توانیم ببینیم ولی نمی‌توانیم با استفاده از پژواکِ صدا جای چیزها را پیدا کنیم.

من می‌توانم جهانی را تصور کنم که در آن یک همایش، موجوداتی تحصیل کرده و دانشمند ولی خفاش مانند و کاملاً نابینا از موجودات زنده‌ای به نام انسان صحبت می‌کنند و می‌گویند انسان‌ها می‌توانند از امواجی که به تازگی کشف شده و قابل شنیدن نیست و نور نامیده می‌شود برای مکان‌یابی استفاده کنند. این اشعه هنوز جزء اسرار نظامی است و در یافتن مسیر کاربرد دارد. این آدم‌ها تقریباً چیزی نمی‌شنوند (البته گاهی می‌شنوند و حتی گاهی صدای غرغر مانندی هم تولید می‌کنند که از آن فقط برای کار پیش پا افتاده‌ای مانند ارتباط با یکدیگر استفاده می‌کنند ولی نمی‌توانند از صدایشان برای یافتن جای چیزها، حتی چیزهای خیلی بزرگ استفاده کنند)، در عوض عضو بسیار تخصصی شده‌ای به نام چشم دارند که با آن از اشعه نور استفاده می‌کنند. خورشید منبع نور است و آدم‌ها وسیله‌ای دارند به نام عدسی که به نظر می‌رسد شکل آن با محاسبات دقیق ریاضی ساخته شده چون بسیار ماهرانه اشعه‌های نور را خم می‌کند به‌طوری‌که تصویری یک به یک و دقیق از آن‌چه در جهان خارج است در روی یک سطح سلولی به نام شبکیه ایجاد می‌کند. سلول‌های این شبکیه به صورت عجیبی نورها را قابل شنیدن می‌کنند و آن را به مغز می‌فرستند. ریاضیدانانِ ما ثابت کرده‌اند که بر اساس اصول نظری با انجام محاسبات بسیار پیچیده، می‌توان با استفاده از این اشعه‌های نور در جهان پیرامون با امنیت این طرف و آن طرف رفت. درست به همان صورت که ما به‌طور عادی با مافوق صوت می‌رویم. شاید در بعضی موارد بهتر هم باشد. ولی آیا فکرش را می‌کردید که این آدمِ ناقابل بتواند از پس چنین محاسباتی برآید؟

کاربرد پژواک در خفاش‌ها یکی از هزاران نمونه‌ای است که من می‌توانستم برای نشان دادن منظورم از طراحی خوب انتخاب کنم. ظاهر این حیوانات طوری است که به نظر می‌رسد مهندسان یا فیزیک‌دانان بسیار ماهر با طراحی‌های کاملاً پیشرفته آن‌ها را ساخته‌اند ولی این به آن معنی نیست که خود خفاش آن را می‌داند یا از تئوری به کار رفته در وجودش مثل یک مهندس یا فیزیک‌دان آگاهی دارد. خفاش را باید معادل دستگاه سرعت‌سنج پلیس در نظر گرفت، نه معادل مهندسی که آن ابزار را ساخته است. طراح دستگاه سرعت‌سنج اصل «اثر دوپلر» را درک می‌کند و آن را به صورت معادلات ریاضی به روی کاغذ می‌آورد. درک ذهنی آن طراح از این پدیده در دستگاه سرعت‌سنج صورت عینی می‌یابد، گرچه خود آن دستگاه نمی‌داند که چطور کار می‌کند. اجزای الکترونیکی این وسیله طوری تنظیم شده‌اند که دو بسامد رادار را محاسبه کرده و نتیجه را به صورت واحدی آشنا – کیلومتر در ساعت – بیان می‌کنند. محاسبات بسیار پیچیده‌ای که در آن به کار رفته از یک بسته مدرن الکتریکی زمان ما بعید نیست. مسلم است که یک ذهن آگاه و دانا این تنظیمات (یا لااقل طراحی آن) را انجام داده است. ولی دیگر لازم نیست کسی عمل‌کرد آن بسته را لحظه به لحظه پیگیری کند.

تجربیات ما با دستگاه‌های الکترونیکی این تصور را به وجود می‌آورند که این دستگاه‌ها مفاهیم پیچیده ریاضی را می‌فهمند. همین وضعیت در مورد عمل‌کرد ماشین‌های زنده هم وجود دارد. خفاش یک دستگاه زنده است که سیستم الکترونیک داخلی‌اش طوری تنظیم شده که ماهیچه‌های بالش او را روی حشره مورد نظر فرود می‌آورند، درست همان‌طور که یک موشک هدایت شوند روی هواپیمای مورد نظر می‌نشیند. تا این‌جا برداشت ما صحیح است. اما تجربه ما از تکنولوژی این تمایل را نیز ایجاد می‌کند که یک ذهن هدف‌دار، مبتکر و خلاق را دست‌اندرکار پیدایش دستگاه‌های پیشرفته بدانیم. همین شم است که در مورد ماشین‌های زنده ما را به اشتباه می‌اندازد. در حالی که طراح ماشین‌های زنده انتخاب طبیعی ناآگاه یا همان

ساعت‌ساز نابیناست.

امیدوارم که خواننده هم مثل من یا مثل *ویلیام پالی* اگر می‌بود از خواندن داستان خفاش حیرت زده شود. از یک نظر هدف من همانند هدف *پالی* است. من نمی‌خواهم خواننده عظمتِ ساز و کار طبیعت و مسایل مربوط به شرح آن را دست کم بگیرد. گرچه در زمان *پالی* راز مکان‌یابی با پژواک در خفاش‌ها هنوز کشف نشده بود وگرنه این موضوع هم می‌توانست یکی از نمونه‌هایی باشد که او مطرح می‌کرد. *پالی* استدلالش را با زیاد کردن نمونه‌ها به سرانجام می‌رساند. او بدن را از سر تا پا با اجزای ساعت مقایسه می‌کند تا دقت در طراحی ساخت آن را نشان دهد. من هم این کار را دوست دارم و می‌شود داستان‌های زیبایی تعریف کرد و من داستانسرایی را دوست دارم. ولی واقعاً لازم نیست که تعداد نمونه‌ها را زیاد کنیم. یک یا دو نمونه کافی است. فرضیه‌ایی که بتواند چگونگی گردش خفاش‌ها را توجیه کند، برای توضیح هر چیز دیگر این جهان زنده نیز به درد می‌خورد. بنابراین اگر توضیح *پالی* در مورد یک نمونه اشکال داشته باشد، افزودن مثال‌های متعدد کاری از پیش نمی‌برد. فرضیه او این است که ماشین‌های زنده را یک ساعت‌ساز ماهر طراحی کرده و ساخته است. ما بر اساس فرضیه جدید معتقدیم این کار طی مراحل تدریجی تکامل از طریق انتخاب طبیعی صورت گرفته است.

روحانیون امروزی صراحت *پالی* را ندارند. آن‌ها با ساز و کار پیچیده جانداران کاری ندارند فقط می‌گویند از روی ظاهر آن‌ها می‌توان پی برد که خالقی مانند یک ساعت‌ساز آن‌ها را ساخته است. اما این تمایل هم هست که بگویند: «بعید است باور کنیم» که چنین پیچیدگی و کمالی ناشی از انتخاب طبیعی باشد. وقتی من چنین چیزهایی را می‌خوانم دلم می‌خواد در حاشیه کتاب بنویسم این‌ها را به خودت بگو... در یک کتاب جدید با عنوان *احتمال وجود خدا* که اسقف بیرمنگاه، *هواگ مونتیفور* آن را نوشته نمونه‌های زیادی (در یک فصل سی و پنج مورد) پیدا کردم. من از کتاب او برای همه مثال‌هایم در بقیه فصل استفاده می‌کنم زیرا کار او تلاش

صادقانه و صمیمانه نویسنده معروف و تحصیل‌کرده‌ای است که می‌خواهد خداشناسی از روی طبیعت را به زبان روز شرح دهد. منظور من از صادقانه واقعاً صادقانه است. *مونتیفور* بر خلاف بعضی از همکارانش از بیان واقعیت و طرح پرسش درباره وجود خدا ترس ندارد. و خود را درگیر طفره رفتن‌های زیرکانه‌ای مانند این نمی‌کند که: «مسیحیت یک روش زندگی است و مسئله وجود خدا دیگر منتفی و سرابی زاییده تصور غلط از واقع‌گرایی است.» بخشی از کتاب او درباره فیزیک و فلسفه عالم هستی است که من صلاحیت اظهارنظر درباره آن را ندارم جز این‌که بگویم از نظر فیزیک‌دان معتبری استفاده کرده است. ای کاش در مورد بخش زیست‌شناسی هم همین کار را می‌کرد. متأسفانه در این مورد از آثار *کوستلر*[۱]، *فرد هویل*[۲]، *گردن رتری تایلور*[۳] و *کارل پوپر*[۴] استفاده کرده است! این اسقف تکامل را قبول دارد ولی نمی‌تواند بپذیرد که انتخاب طبیعی توضیح بسنده‌ای برای مراحل تکامل باشد (شاید تا حدی به این علت که مانند بسیاری از افراد دیگر «تصادفی» بودن و «بی‌هدف» بودن انتخاب طبیعی را درست متوجه نمی‌شود).

و از آن‌چه می‌شود نام *برهان از روی ناباوری* خود را بر آن گذاشت بسیار زیاد استفاده می‌کند. در یک فصل کتابش عبارات زیر به همین ترتیب آمده‌اند:

> ... به نظر نمی‌رسد هیچ توضیحی در زمینه داروینیسم... توجیهش آسان‌تر نیست... فهم آن مشکل است ... درک آن آسان نیست ... به همان اندازه توضیح‌اش مشکل است ... من درک آن را ساده نمی‌دانم ... برایم فهمیدن آن آسان نیست ... درک آن برایم سخت است ... توضیح‌اش ممکن به نظر نمی‌رسد ... نمی‌دانم چطور ... نوداروینیسم برای توضیح بسیاری از پیچیدگی‌های رفتار حیوانات کافی به نظر

---

۱ Arthur Koestler

۲ Fred Hoyle

۳ Gordon Rattray-Taylor

۴ Karl Popper

> نمی‌رسد ... نمی‌دانم چطور ... درک این‌که چگونه چنین رفتاری تنها از طریق انتخاب طبیعی می‌تواند تکامل یافته باشد آسان نیست ... غیرممکن است ... چگونه عضوی به این پیچیدگی می‌تواند تحول یابد؟ ... فهمیدن آن راحت نیست ... دشوار است درک این ...

همان‌طور که خود داروین می‌گوید *برهان از روی ناباوری* خود، استدلال ضعیفی است. در بعضی موارد مبنای آن یک بی‌خبری ساده است. مثلاً یکی از آن واقعیت‌ها که درکش برای این اسقف دشوار است مربوط به رنگ سفید خرس‌های قطبی است:

> بر اساس اصول نو داروینیسم نمی‌توان موضوع استتار را تبیین نمود. اگر خرس‌های قطبی در قطب شمال جاندارانی غالب‌اند دیگر به نظر نمی‌رسد نیازی باشد که برای بقا با طبیعت همرنگ شوند.

می‌توان این گفته را این‌طور تعبیر کرد:

> من شخصاً در ذهن خودم در حالی که در اتاق کارم نشسته‌ام و دارای تحصیلات در ادبیات کلاسیک و الهیات هستم و هرگز منطقه قطبی را ندیده‌ام و خرس قطبی را هم در محیط زندگی طبیعی‌اش مشاهده نکرده‌ام تا کنون نتوانسته‌ام دلیلی پیدا کنم که فایده رنگ سفید برای خرس قطبی را نشان دهد.

در این مورد خاص، این فرضیه براساس این تفکر است که فقط حیواناتی که طعمه می‌شوند احتیاج به استتار دارند. به این نکته توجه نشده که حیوانات وحشی هم لازم است خود را از طعمه‌های‌شان پنهان کنند. خرس قطبی روی یخ‌ها در کمین سگ‌های آبی می‌نشیند. اگر سگ آبی از دور آمدن او را ببیند می‌تواند فرار کند. یقین دارم اگر این اسقف، خرس گنده سیاهی را تصور کند که دارد روی برف‌ها به شکار سگ آبی می‌رود، فوراً به جواب مسئله‌اش خواهد رسید.

دیدم حل مسئله خرس قطبی آسان بود ولی موضوع چیز دیگری است. حتی اگر پیشروترین صاحب نظران جهان نتوانند یک پدیده مهم زیست‌شناختی را توضیح دهند، نباید آن را غیرقابل توضیح دانست. بسیاری از معماها قرن‌ها مقاومت کرده‌اند ولی بالاخره پرده از رازشان برکنار شده است. برای بیش‌تر زیست‌شناسان امروزی توضیح هر یک از سی و پنج نمونه‌ای که او مطرح کرده، براساس انتخاب طبیعی کار مشکلی نیست گرچه توضیح همه آن‌ها هم به راحتی موضوع خرس قطبی نیست. ما نمی‌خواهیم هوش آدم‌ها را بسنجیم. حتی اگر یک مورد باشد که نتوانیم توضیح‌اش دهیم باید عجله نکنیم و از ذهن خودمان داستان نسازیم. خود *داروین* خیلی در این مورد صراحت داشت.

نمونه‌های جدی‌تری از برهان‌های از روی نابلوری شخصی وجود دارند، نمونه‌هایی که فقط ناشی از ناآگاهی یا نداشتن نبوغ کافی نیست. در صورتی از این استدلال‌ها مستقیماً از احساس حیرتی که بشر در مقابل دستگاه‌های پیچیده طبیعی، مانند مکان‌یابی با پژواک، دارد استفاده می‌کنند، مسئله این است که تقریباً بدیهی به نظر می‌رسد که چیزی تا این حد شگفت‌آور نمی‌تواند فقط نتیجه انتخاب طبیعی باشد. این اسقف نظر جی. *بی‌نت* را در مورد تار عنکبوت تأیید و نقل می‌کند:

> برای کسی که ساعت‌ها تنیدن تار عنکبوت را مشاهده کرده باشد غیرممکن است شک کند در این‌که نه عنکبوت‌های امروزی نه اجدادشان معماران این شبکه باشند یا بپذیرد که تغییرات تصادفی مرحله به مرحله آن را به وجود آورده باشد. این تصور همان‌قدر بی‌پایه است که تناسب دقیق اجزا و زیبایی معبدی در آتن که نمونه‌ای از عظمت و زیبایی معماری در یونان باستان است (پارتنون) را حاصل روی هم انباشتن تکه‌های سنگ مرمر بدانیم.

از نظر من ابداً غیرممکن نیست. من کاملاً به این باور رسیده‌ام و در مورد عنکبوت و تار آن هم تجربیاتی دارم.

اسقف ما به سراغ چشم انسان می‌رود و با بیانی که گویا انتظار دارد پاسخی برای آن یافت نشود، می‌پرسد: «چگونه چنین عضو پیچیده‌ای می‌تواند تکامل یابد؟» این کار استدلال نیست بلکه اثبات ناباوری خود است. مبنای این شم ناباوری که همه ما در مقابل آن‌چه به قول *داروین* سازه‌های پیچیده و تکامل یافته است احساس می‌کنیم، از نظر من دو چیز است. اول این‌که ما درک خوبی از آن گستره وسیع زمانی که برای تغییرات تکاملی لازم است نداریم. بیش‌تر آن‌ها در پذیرش انتخاب طبیعی تردید دارند، می‌پذیرند که انتخاب طبیعی می‌تواند دلیل تغییرات جزئی مانند تیرگی رنگ که در انواع حشره بید بعد از انقلاب صنعتی پدیدار شده باشد، ولی آن را تغییر کوچکی محسوب می‌کنند. همان‌طور که اسقف می‌گوید: بید تیره رنگ یک نوع جانور جدید نیست. برای حشره بید این تغییر صد سال طول کشیده است. برای ما صد سال زمانی طولانی است چون بیش‌تر از عمر یک انسان معمولی است. ولی برای یک زمین‌شناس زمان کوتاهی است چون یک هزارم زمانی است که معمولاً با آن سروکار دارد!

چشم، فسیل نمی‌شود. بنابراین ما نمی‌دانیم چقدر طول کشیده تا چشم ما از صفر به این درجه از پیچیدگی و کمال برسد. باید حدوداً زمانی برابر چند صد میلیون سال باشد. برای مقایسه، تغییراتی را که انسان در سگ‌ها با انتخاب ژنی در زمانی بسیار کوتاه‌تر به وجود آورده در نظر بگیرید. ظرف چند صد سال یا حداقل یک هزار سال ما از گرگ به انواع «چینی[۱]»، «بولداگ[۲]»، «چی هوآهوآ[۳]»، و «سنت برنارد[۴]»، رسیده‌ایم. همه این‌ها هنوز سگ محسوب می‌شوند، غیر از این است؟ هنوز به جانوری از نوع دیگر تبدیل نشده‌اند. خوب اگر راحتید که این‌طور با کلمات بازی

---

۱ Pekingese

۲ Bulldog

۳ Chihvahva

۴ Saint Bernard

کنید می‌توانید همه را سگ بنامید. ولی به مدت زمان تکامل آن‌ها بیاندیشید. حالا اگر تمام مدت زمانی که طول کشیده تا از گرگ همه این انواع سگ ایجاد شوند را یک قدم معمولی در نظر بگیریم، بر این قیاس باید چند قدم به عقب برگردیم تا به لوسی[۱] و نژاد او که نخستین انسان‌هایی بودند که روی دو پا راه می‌رفتند برسیم؟ جواب دو کیلومتر است. چقدر باید به عقب برگردیم تا به زمان شروع تکامل در کره زمین برسیم؟ پاسخ این است که باید زحمت بکشید و تمام راه از لندن تا بغداد را پیاده طی کنید. اگر کل تغییرات تکاملی را از گرگ تا «چی‌هوآهوآ» را در نظر گرفته و در تعداد قدم‌های مسیر بین لندن تا بغداد ضرب کنیم، آنگاه شاید بتوانیم تصوری ذهنی از مقدار تغییرات تکامل طبیعی واقعی داشته باشیم.

دومین عامل ناباوری طبیعی‌مان درباره تکامل اعضای پیچیده‌ای مانند چشم انسان و گوش خفاش است که ما از فرضیه احتمالات به صورت شمی استفاده می‌کنیم. اسقف مونتیفور به نقل از *راوان*[۲] در مورد کوکو می‌گوید این‌ها تخم‌شان را در لانه پرندگان دیگر می‌گذارند که بعد آن پرندگان ناخواسته در نقش پدر و مادر جوجه‌هایشان عمل می‌کنند. مانند بسیاری از سازگاری‌های زیست‌شناختی دیگر، در مورد کوکو سازگاری تنها همین یک مورد نیست بلکه متعدد است. چند واقعیت دیگر نیز وجود دارد که روش زندگی انگلی کوکو را نشان می‌دهد. مثلاً پرنده مادر عادت دارد در آشیانه پرندگان دیگر استراحت کند و جوجه‌اش عادت دارد پرنده میزبان را از لانه بیرون بیندازد. این دو کار به ادامه زندگی انگلی کوکو کمک می‌کند. *راون* می‌افزاید:

> مشاهده می‌شود که توالی هر یک از این وضعیت‌ها برای موفقیت کل جریان لازم است، گرچه برای هر کدام به تنهایی نمی‌شود فایده‌ای در نظر گرفت. کل این خلقت باید همزمان صورت گرفته باشد زیرا تعداد حالاتی که ممکن است چنین مجموعه‌ای

---

۱ Lucy

۲ C. E. Raven

از واقعیت‌ها به صورت ناجور کنار هم قرار گیرند بسیار زیاد است.

در کل، بحث‌های این‌چنینی بیش‌تر مقبول‌اند تا استدلال‌هایی که بر مبنای ناباوری صرف و صریح باشند. سنجش آماری میزان نامحتمل بودن یک پیشنهاد، راه مناسبی است برای ارزیابی کردن باورپذیری آن. این درواقع همان روشی است که در این کتاب چند بار از آن استفاده خواهیم کرد. ولی این کار باید به روش صحیح صورت گیرد. استدلال *راون* دو اِشکال دارد. اولی خلط مبحث در موضوع آشنا و شاید بشود گفت آزار دهنده‌ی انتخاب طبیعی با «تصادفی بودن» آن است – چرا که جهش اتفاقی است؛ انتخاب طبیعی درست خلاف اتفاقی بودن است. اِشکال دوم این است که گرچه درست است که برای هر کدام (از سازمان‌ها) به تنهایی نمی‌شود فایده‌ای در نظر گرفت ولی لزومی ندارد که همه‌ی کارِ کامل شده در یک زمان حادث شده باشد و این درست نیست که هر یک از آن وضعیت‌ها برای موفقیت کل جریان لازم باشد. ساده، نیم‌بند و حاشیه‌ای بودن یک چشم، گوش، مکان‌یابی با پژواک، زندگی انگلی کوکو از هیچ بهتر است. بدون چشم آدم کور است. با یک نصفه چشم حداقل می‌شود جهت حرکت یک حیوان وحشی را دنبال کرد، اگر نتوان تصویر دقیقی از آن داشت و این همان تفاوت بین زندگی و مرگ است. به این موضوعات در دوفصل بعد بیش‌تر خواهیم پرداخت.

فصل ۳

انباشته شدن تغییرات کوچک

دیدیم که جانداران، بسیار نامحتمل‌تر و خوش‌ساخت‌تر از آن هستند که اتفاقی به وجود آمده باشند. خوب، پس چگونه به وجود آمده‌اند؟ پاسخ به این سؤال، یعنی پاسخ *داروین*، این است که با تغییرات تدریجی و گام‌به‌گام از چیزهای ساده پدید آمده‌اند، از ابتدایی‌ترین عناصر هستی، از چیزهایی آن‌قدر ساده که می‌توانند بر اثر تصادف پیدا شده باشند. هر تغییر بعدی در روند تدریجی تکامل نیز در هر نسل نسبت به مرحله قبلی خود، آن‌قدر ساده بوده که بشود آن را حاصل تصادف دانست. اما وقتی پیچیدگی محصول نهاییِ کار را نسبت به نقطه‌ی شروعِ آن مقایسه کنیم می‌بینیم از انباشت تغییرات گام‌به‌گام چیزی پیدا شده که نمی‌تواند حاصل فرایندی اتفاقی باشد. بقای غیرتصادفی، این فرایندِ انباشتی را هدایت می‌کند. در این فصل سعی می‌شود نشان دهیم محرک انتخاب انباشتی اساساً فرایندی غیرتصادفی است.

اگر شما در ساحلی که پُر از سنگ‌ریزه است قدم بزنید، متوجه می‌شوید که سنگ‌ریزه‌ها به صورت یکنواخت پخش نشده‌اند. سنگ‌ریزه‌های کوچک‌تر بیش‌تر در امتداد ساحل‌اند. درشت‌ترها در جاها و باریکه‌های دیگر قرار دارند. به نظر می‌رسد سنگ‌ریزه‌ها تنظیم و گزینش شده‌اند. ممکن است افرادی که نزدیک ساحل زندگی می‌کنند از این دسته‌بندی و نظم شگفت‌زده شوند و شاید برای توجیه آن از افسانه‌ای

کمک بگیرند، مثلاً آن را به ذهن آراسته و منظم روحی بزرگ در آسمان نسبت دهند. این حرف‌های خرافاتی ممکن است برای ما خنده‌دار باشد و توضیح آن را نظم قوانین طبیعت و در این مورد حاصل کنش امواج بدانیم. موج‌ها قصد و غرض خاصی ندارند، از ذهن منظم یا اصلاً ذهن هم خبری نیست. موج‌ها فقط سنگ‌ریزه‌ها را با شدت به این طرف و آن طرف پرتاب می‌کنند ولی سنگ‌ریزه‌های کوچک و بزرگ هر کدام به طرزی متفاوت به این کنش پاسخ می‌دهند و در نتیجه توده‌های متفاوتی در ساحل پیدا می‌شود. اندک نظمی که از میان بی‌نظمی‌ها پیدا می‌شود زاییده هیچ ذهنی نیست.

موج و سنگ‌ریزه نمونه‌ای ساده از نظامی است که به‌طور خودکار چیزی غیرتصادفی و نظم‌دار به وجود می‌آورد. دنیا پر از چنین نظام‌هایی است. ساده‌ترین سیستمی که به نظرم می‌رسد یک چاله است. فقط چیزهای کوچک‌تر از دهنه آن به درونش می‌افتند. یعنی اگر شما به‌طور تصادفی چیزهایی را به طرف چاله بیندازید، نیرویی آن چیزها را جدا کرده و بنا به معیاری دسته‌بندی می‌کند. بعد از مدتی می‌بینید چیزهای داخل چاله و آن‌ها که بیرون افتاده‌اند به صورت نظم‌داری دسته‌بندی شده‌اند. چیزهای درون چاله همه کوچک‌تر از اندازه دهنه‌ی آنند و در فضای بیرون چاله اکثراً چیزهای بزرگ‌تر قرار دارند. البته دیرزمانی است که انسان از این اصل ساده دسته‌بندی از وسیله‌ای به نام غربال استفاده می‌کند.

در منظومه شمسی سیاره‌ها، ستاره‌های دنباله‌دار و سنگ‌های متراکم بانظم ثابتی به دور خوشید می‌گردند و این منظومه یکی از چندین منظومه مشابه در جهان است. هر چه سیاره‌ای به خورشیدش نزدیک‌تر باشد باید با سرعت بیش‌تری بگردد تا با نیروی جاذبه خورشید مقابله کرده و در مدار خود باقی بماند. برای هر مدار خاص فقط یک سرعت مناسب وجود دارد که جسم را در آن به صورت پایدار در گردش نگه می‌دارد. سرعتی غیر از آن، یا جسم را به فضای بیکران پرتاب کرده یا باعث برخورد با خورشید می‌شود یا آن را وارد مدار دیگری می‌کند. در منظومه شمسی ما

هر سیاره‌ای دقیقاً سرعتی دارد که آن را به‌طور دائم در گردش به دور خورشید نگه می‌دارد. آیا این هدایت معجزه است؟ خیر، یک غربال دیگر طبیعت است. بدیهی است همه سیاراتی که به دور خورشید می‌بینیم باید سرعت مناسب و ثابتی داشته باشند که بتوانند به گردش خود ادامه دهند، در غیر این صورت ما دیگر آن‌ها را نخواهیم دید چون آن‌جا نخواهند بود که دیده شوند. این هم یک نوع دیگر غربال است.

البته تنها با این غربال‌گری ساده نمی‌توان نظم غیرتصادفی در ساختمان هر موجود زنده را توجیه کرد. قیاس شماره‌های رمز قفل را به یاد بیاورید. نظمی را که فقط با غربال کردن ساده به دست می‌آید نمی‌توان معادل باز کردن قفلی با یک شماره‌گیری دانست: فقط شانس محض ممکن است قفل رمزداری را به یک ضرب باز کند. از طرفی، نظمی که در جانداران هست آن‌ها را معادل قفل غول‌آسایی می‌کند که در رمز آن بی‌نهایت حالت برای شماره‌گیری وجود دارد. اگر بخواهیم فقط با غربال ساده یک مولکول زیست‌شناختی مثل هموگلوبین، یعنی ماده رنگی خون، را بسازیم مثل این است که همه امینواسیدهای سازنده‌ی هموگلوبین را برداریم و با هم مخلوط کنیم، بعد انتظار داشته باشیم که شانسی از آن ترکیب هموگلوبین به وجود آید. شانسی را که این کار لازم دارد قابل حساب کردن نیست و به قول *ایزاک آسیموف* و بعضی دیگر دود از کله‌ی آدم بلند می‌کند.

هر مولکول هموگلوبین از چهار رشته بهم پیچیده اسیدهای امینه ساخته شده است. بیایید نگاهی به یکی از این چهار رشته داشته باشیم. این رشته شامل ۱۴۶ اسید امینه است. در جانداران معمولاً بیست نوع اسید امینه مختلف وجود دارد. تعداد ترتیب‌های ممکن برای قرارگرفتن این ۲۰ نوع اسید امینه در رشته‌ای که ۱۴۶ حلقه دارد بسیار بسیار زیاد است و *ایزاک آسیموف* آن را عدد هموگلوبین می‌نامد. محاسبه تعداد حالات ممکن کار مشکلی نیست ولی پیش‌بینی این‌که جواب چیست غیرممکن است. اولین حلقه این رشته ۱۴۶ حلقه‌ای ممکن است هر یک از آن

بیست نوع اسید باشد و حلقه دوم ممکن است هم هر یک از آن‌ها باشد، بنابراین تعداد حالت‌های ممکن برای دو حلقه ۲۰ × ۲۰ و تعداد حالات ممکن برای سه حلقه ۲۰ × ۲۰ × ۲۰ یا ۸۰۰۰ است. تعداد حالات ممکن برای ۱۴۶ حلقه برابر است با ۲۰ به توان ۱۴۶ که عدد فوق‌العاده بزرگی است. یک میلیون، یک است با شش تا صفر. میلیارد یک با ۹ صفر است. عددی که ما دنبالش هستیم یک با ۱۹۰ صفر است. یعنی احتمال تصادفی ساخته شدن هموگلوبین یک بر روی این عدد است و می‌دانیم مولکول هموگلوبین جزء بسیار کوچکی از پیچیدگی‌های یک جاندار را تشکیل می‌دهد. معلوم است که غربال کردن ساده نمی‌تواند جوابگوی آن همه نظم در جاندار باشد. غربال کردن لازم است ولی همه‌ی داستان نیست. چیز دیگری لازم است. برای توضیح این نکته، لازم است بین انتخاب تک مرحله‌ای، و انتخاب انباشتی، تمایز قایل شویم. غربال‌های ساده‌ای که تاکنون در این فصل از آن‌ها صحبت کردیم، همه نمونه‌هایی از انتخاب تک مرحله‌ای هستند. جانداران حاصل انتخاب انباشتی‌اند.

تفاوت عمده بین انتخاب تک مرحله‌ای و انتخاب انباشتی را می‌توان چنین بیان کرد. در انتخاب یک مرحله‌ای چیزی که انتخاب یا دسته‌بندی می‌شود، سنگ‌ریزه یا هر چه می‌خواهد باشد فقط یک بار دسته‌بندی می‌شود. برعکس در انتخاب انباشتی این کار تکرار می‌شود یعنی آن‌چه از یک غربال کردن به دست می‌آید، دوباره از غربال دیگری می‌گذرد و این کار همین‌طور ادامه پیدا می‌کند. آن چیز مورد نظر، درواقع پشت سر هم و نسل به نسل غربال می‌شود یعنی در معرض انتخاب و دسته‌بندی قرار می‌گیرد. حاصل انتخاب هر نسل، نقطه شروع انتخاب برای نسل بعد است و همین‌طور الی آخر. طبیعی است که واژه‌هایی مانند «تولید»، و «نسل» که مربوط به موجودات زنده‌اند را در این‌جا به کار ببریم چون عمده‌ترین موردی که در آن انتخاب انباشتی صورت می‌گیرد جانداراننند و شاید تنها چیزهایی باشند که بر اثر انتخاب انباشتی پدید آمده‌اند. ولی فعلاً از این موضوع می‌گذریم.

گاهی ابرها، بر اثر وزش و برخورد باد با آن‌ها، شکل چیزهای آشنا را پیدا می‌کنند. عکس معروفی وجود دارد که بسیار چاپ شده است. این عکس را خلبان یک هواپیمای کوچک گرفته و در آن چیزی شبیه صورت حضرت مسیح دیده می‌شود که از آسمان به زمین نگاه می‌کند.

همه ما گاهی ابرهایی دیده‌ایم که ما را به یاد چیزی انداخته‌اند، مثلاً اسب دریایی یا چهره‌ای متبسم. این شباهت حاصل یک انتخاب تک مرحله‌ای است. یعنی فقط یک تصادف آن را ساخته است، و بنابراین خیلی ما را شگفت‌زده نمی‌کند. شباهت نشانه‌های ماه‌های رومی با حیواناتی که به آن نامیده می‌شوند مثل عقرب و شیر و غیره هم مثل پیش‌بینی‌های پیش‌گویان ما را زیاد تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. در حالی که دیدن نظم و پیچیدگی جانداران که حاصل انتخاب انباشتی است برای ما واقعاً تعجب‌آور است. مثلاً شباهت حشره‌ای به یک برگ یا شباهت آخوندک به یک دسته گل صورتی را جالب، حیرت‌آور و اعجاب‌انگیز توصیف می‌کنیم. شباهت ابر به راسو تا آن حد جالب است که آن را به دوست همراه‌مان نشان دهیم. به علاوه ممکن است در مورد این‌که آن ابر به چه چیز شبیه است نظرمان تغییر کند.

هملت: آن ابر را می‌بینی که شبیه شتر است؟

پولونیوس: بله مثل شتر است.

هملت: به نظرم مثل راسو است.

پولونیوس: مثل راسو پشتش گرد است.

هملت: یا شکل نهنگ است؟

پولونیوس: خیلی شبیه نهنگ است.

نمی‌دانم اولین بار چه کسی این موضوع را مطرح کرد که اگر به میمونی فرصت کافی بدهیم که به دکمه‌های ماشین تحریر ضربه بزند، ممکن است کل آثار شکسپیر را به

وجود آورد. بله، ولی مسئله همان فرصت کافی است. کار این میمون را کمی محدود می‌کنیم. به جای کل آثار فرض کنیم بخواهد فقط جمله کوتاه 'Methinks it is liked weasel' (فکر می‌کنم شبیه راسو است) را بنویسد. کار را برایش با تهیه ماشین تحریری که فقط ۲۶ حرف و یک کلید فاصله دارد راحت‌تر می‌کنیم. نوشتن این جمله ساده چقدر طول می‌کشد؟

در این جمله ۲۸ حرف به کار رفته بنابراین فرض می‌کنیم این میمون در هر بار ۲۸ ضربه به دکمه‌های ماشین تحریر وارد می‌کند و هر وقت که آن جمله را درست بنویسد آزمایش تمام است. تا آن وقت، می‌گذاریم این کار را تکرار کند. من میمون ندارم ولی خوشبختانه دختر یازده ماه‌ام به خوبی انتخاب‌های تصادفی را به نمایش می‌گذارد و خیلی هم دوست دارد نقش میمون ماشین‌نویس را بازی کند. این‌ها را او روی کامپیوتر تایپ کرد:

UMMK JK CDZZ F ZD DSDSKSM
S SS FMCV PU I DDRGLKDXRRDO
RDTE QDWFDVIOY UDSKZWDCCVYT
H CHVY NMGNBAYTDFCCVD D
RCDFYYYRM N DFSKDLDK WDWK
JJKAUIZMZI UXDKIDISFUMDKUDXI

چون دخترم کارهای مهم دیگری هم داشت، من مجبور شدم برنامه این کار را بدهم به کامپیوترم تا مثل میمون یا مثل یک بچه کوچک شانسی ماشین کند.

WDLDMNLT DTJBKWIRZREZLMQCO P
Y YVMQKZPGJXWVHGLAWFVCHQYOPY
MWR SWTNUXMLCDLEUBXTQHNZVIQF
FU OVAODVYKDGXDEKYVMOGGS VT
HZQZDSFZIHIVPHZPETPWVOVPMZGF
GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

و همین‌طور ادامه دهد. محاسبه این‌که چند بار باید این کار تکرار شود تا جمله 'METHINKS IT IS LIKE A WEASEL' تولید شود مشکل نیست. باید تعداد همه حالات ممکنی را که میمون تایپ می‌کند پیدا کنیم. محاسبه آن مانند محاسبه عدد هموگلوبین و حاصلش مانند آن عددی بسیار بزرگ است. ۲۷ دکمه وجود دارد (کلید فاصله را هم در نظر گرفته‌ایم). احتمال این‌که اولین حرفی که انتخاب می‌کند M باشد $\frac{۱}{۲۷}$ است. احتمال این‌که دو حرف اول ME باشد $\frac{۱}{۲۷}\times\frac{۱}{۲۷}$ است که می‌شود $\frac{۱}{۷۲۹}$. احتمال این‌که کلمه METHINKS را که هشت حرف دارد درست بنویسد، $\frac{۱}{۲۷}$ به توان هشت است. احتمال این‌که هر ۲۸ حرف را درست بنویسد $\frac{۱}{۲۷}$ به توان ۲۸ است، یعنی باید $\frac{۱}{۲۷}$ را بیست و هشت بار در خودش ضرب کنیم. حدوداً می‌شود یک بر روی ده‌هزار میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون. راحت‌تر بگویم عبارتی را که دنبالش هستیم به این زودی‌ها پیدا نمی‌شود، چه رسد به کل آثار شکسپیر.

تا این‌جا راجع به انتخاب تک مرحله‌ای بود. انتخاب انباشتی چطور است و اثر آن چگونه است؟ تأثیر انتخاب انباشتی خیلی خیلی زیادتر است، شاید خیلی بیش‌تر از آن‌چه اول به نظر می‌رسد، گرچه بالاخره آن هم با محاسبه مشخص می‌شود. باز میمونِ کامپیوتر را راه می‌اندازیم ولی این بار برنامه یک تفاوت عمده دارد. این بار هم یک رشته بیست و هشت حرفی تصادفی را می‌نویسد، درست مثل قبل:

WDLDMNLT DTJBKWIRZREZLMQCO P

حالا عبارات بعدی را از این جمله تولید می‌کند. مدام این جمله را تکرار می‌کند ولی در این تکرارها احتمال خطا – یا جهش – تصادفی وجود دارد. کامپیوتر جمله‌های بی‌معنیِ جهش‌یافته را که فرزند جمله اصلی‌اند بررسی و آن را که، هر قدر هم ناچیز، شباهتی به جمله مورد نظر یعنی METHINKS IT IS LIKE WEASEL [داشته] باشد انتخاب می‌کند. در این مورد جمله برنده نسل بعد این بود:

WDLDMNLT DTJBKWIRZREZLMQCO P

پیشرفتی دیده نمی‌شد. اما کار تکرار شد و باز فرزندان جهش‌یافته جمله اصلی به دست آمد و برنده جدیدی بین آن‌ها انتخاب شد. این کار، نسل به نسل، ادامه یافت. بعد از ده نسل، جمله‌ای که برای تکثیر انتخاب شد این بود:

MDLDMNLSITJISWHRZREZ MECS P

و بعد از ۲۰ نسل این بود:

MELDINLS IT ISWPRKE Z WECSEL

تا این‌جا، شک داریم چیزی شبیه به جمله اصلی پیدا شود بعد از نسل ۳۰ این شک از بین می‌رود:

METHINGS IT ISWLIKE B WECSEL

نسل ۴۰ ما را در فاصله یک حرفی با جمله اصلی قرار می‌دهد:

METHINGS IT IS LIKE I WEASEL

و بالاخره در نسل ۴۳ به جمله مورد نظر می‌رسیم. دور دوم را کامپیوتر با این حروف شروع می‌کند:

Y YVMQKZPFfXWVHGLAWFVCHQXYOPY

و از نسل‌های زیر می‌گذرد (باز از هر ده نسل یکی را آورده‌ایم):

Y YVMQKSPFTXWSHLIKEFV HQYSPY
YETHINKSPITXISHLIKEFA WQYSEY
METHINKS IT ISSLIKE A WEFSEY
METHINKS IT ISBLIKE A WEASES
METHINKS IT ISJLIKE A WEASEO
METHINKS IT IS LIKE A WEASEP

و در نسل ۶۴ به عبارت مورد نظر می‌رسیم. کامپیوتر دور سوم را با این عبارت

شروع کرد:

GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

و در نسل ۴۱ نژاد برگزیده به جمله METHINKS IT IS LIKE A WEASEP رسید.

مهم نیست که انجام این کار با کامپیوتر چقدر طول می‌کشد اگر مایل هستید بدانید، تمام این کار را در فاصله‌ای که من برای ناهار رفته بودم، کامپیوتر انجام داد. تقریباً نیم ساعت طول کشید. (به نظر اهل کامپیوتر ممکن است خیلی کُند باشد. علت این است که برنامه‌اش در BASIC نوشته شده بود که مثل نوعی بچگانه حرف زدن است. دفعه بعد که آن را به زبان پاسکال نوشتم، یازده ثانیه طول کشید) برای این نوع کارها، کامپیوتر جز این‌که کمی از میمون سریع‌تر است، تفاوت قابل ملاحظه دیگری با آن ندارد. مهم تفاوت بین زمانی است که با انتخاب انباشتی این کار صورت می‌گیرد و وقتی‌که کامپیوتر، با همان سرعت برای انجام کار از انتخاب تک مرحله‌ای استفاده می‌کند. این تفاوت حدود یک میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون سال است. این زمان بیش از میلیون میلیون میلیون برابر عمر جهان است. درواقع شاید بهتر است بگوییم در مقابل زمانی که لازم است تا میمون یا کامپیوتری که برای کار تصادفی برنامه‌ریزی شده، جمله مورد نظر را تایپ کند، عمر جهان عددی قابل اغماض است، به‌قدری کوچک است که در چنین محاسبه‌ای می‌شود آن را نادیده گرفت در حالی که زمان لازم برای کامپیوتری که شانسی ولی از طریق انتخاب انباشتی همان کار را به صورت قابل فهم برای انسان انجام می‌دهد، چیزی بین یازده ثانیه تا زمان صرف یک ناهار است.

بنابراین تفاوت بین انتخاب انباشتی (که در آن هر پیشرفت کوچک پایه‌ای برای گام بعدی است) و انتخاب تک مرحله‌ای (هر بار یک آزمون جدید صورت می‌گیرد) بسیار زیاد است. اگر قرار بود پیشرفت تکاملی بر اساس انتخاب تک مرحله‌ای باشد، هرگز به جایی نمی‌رسید. اما اگر به ترتیبی شرایط برای انتخاب انباشتی

توسط نیروهای بی‌هدف طبیعت فراهم می‌آمد، نتایج شگفت‌آوری به بار می‌آمد. درواقع همین اتفاق روی سیاره ما رخ داده است. و ما خودمان اگر عجیب‌ترین و شگفت‌آورترین حاصل آن نباشیم، از جدیدترین محصولاتش به شمار می‌آییم.

عجیب است که هنوز از محاسباتی مثل آن‌که من در مورد هموگلوبین انجام دادم، به عنوان استدلال‌هایی علیه نظر *داروین* استفاده می‌کنند. آن‌هایی که این کار را می‌کنند اغلب در رشته خود، نجوم یا هر چه باشد، متخصص هستند و صادقانه بر این باورند که داروینیسم ساختار جانداران را فقط با استفاده از تصادف – یا روند انتخاب تک مرحله‌ای – توجیه می‌کند. این تصور یعنی این‌که در تکامل داروینی شانس دخالت دارد خیلی اشتباه نیست، ولی درست خلاف واقعیت است. در نسخه *داروین* کمی شانس وجود دارد ولی عنصر اصلی انتخاب انباشتی است که ذاتاً غیرتصادفی است.

در ابرها انتخاب انباشتی وجود ندارد، در آن‌ها روندی که طی آن از ابری خاص دخترانی شبیه خودش به وجود آیند وجود ندارد. اگر چنین وضعیتی وجود داشت، مثلاً از ابری شبیه راسو یا شتر یک سلسله دیگر ابر، کم و بیش به همان شکل پدید می‌آمد، می‌شد گفت که پای انتخاب انباشتی در میان است. البته گاهی ابرها پراکنده می‌شوند و بچه ابرها ظاهر می‌شوند ولی این برای انباشتی بودن انتخاب کافی نیست. باید فرزندان هر ابر خاص به پدر و مادر خود شباهت داشته باشند و شباهت‌شان به پدر و یا مادر خود بیش از شباهت‌شان به نسل قبل از آن‌ها باشد. این نکته بسیار مهم را بسیاری از فیلسوفانی که در سال‌های اخیر به اصول انتخاب طبیعی رو آورده‌اند، خوب متوجه نشده‌اند. همچنین در صورتی می‌شود از انتخاب انباشتی در مورد ابرها صحبت کرد که بقا و امکان تکثیر هر ابر خاص به شکل آن بستگی داشته باشد. شاید در کهکشانی دوردست این شرایط فراهم شده باشد و در نتیجه بعد از میلیون‌ها سال صورتی لطیف و نازک از زندگی شکل گرفته باشد. می‌شود با این موضع یک فیلم علمی – تخیلی ساخت و اسم آن را مثلاً ابر سفید

گذاشت. اما برای کار ما یک نمونه کامپیوتری مثل همان میمون و جمله شکسپیر قابل لمس‌تر است.

گرچه نمونه میمون / شکسپیر ما برای توضیح تفاوت انتخاب تک مرحله‌ای و انباشتی مفید است ولی چند اشکال اساسی دارد. یکی از اشکالات این است که در هر نسل، فرزندان برگزیده یعنی جمله‌های جهش‌یافته با یک جمله آرمانی یعنی همان METHINKS IT IS LIKE A WEASEL سنجیده می‌شود. در حالی‌که در زندگی واقعی چنین نیست. تکامل طبیعی برنامه دراز مدت ندارد، از هدف آرمانی خبری نیست و معیار انتخاب، کمال خاصی نیست، اما غرور انسان تمایل دارد این تصور بی‌اساس را تقویت کند که نوع خودش هدف نهایی خلقت است. در زندگی واقعی، همیشه معیار انتخاب زنده ماندن در کوتاه مدت یا به‌طور کلی موفقیت در تولید مثل است. اگر پس از این همه سال عمر دنیا، به آن‌چه که ظاهراً گام زدن در راه کمال است توجه کنیم، چیزی که به دست آمده حاصل جمع انتخاب‌های کوچک و کوتاه مدت طی نسل‌های متوالی بوده است. ساعت‌ساز، یعنی انتخاب انباشتی طبیعت، هدف خاصی را نشانه نگرفته و آینده‌نگر نیست.

می‌توانیم با تغییراتی در برنامه کامپیوتر این نکته را لحاظ کنیم و هم چنین از بعضی نظرها آن را واقعی‌تر بسازیم. حروف الفبا و واژه‌ها فقط به انسان مربوط می‌شود، پس بد نیست بگذاریم کامپیوتر برای ما چیزهایی بکشد. شاید بشود تصاویر حیوانات را در حال تکامل تدریجی در کامپیوتر دید. این کار را با طرح حیوان خاصی شروع نمی‌کنیم که پیش‌داوری ایجاد کند. فقط می‌خواهیم حاصل کار از انتخابِ انباشتیِ جهش‌های تصادفی پیدا شود.

در زندگی واقعی، از رشد نطفه، شکل هر موجود مشخص می‌شود. چون در نسل‌های متوالی، تفاوت‌های جزئی در رشد جنین پیدا می‌شود، تکامل صورت می‌گیرد. این تفاوت‌ها بر اثر تغییرات (جهش‌ها یعنی همان مقدار مختصر عنصر

شانس که در این روند وجود دارد و قبلاً از آن صحبت کردم) در ژن‌های کنترل کننده رشد به وجود می‌آیند. بنابراین باید در نمونه کامپیوتری چیزی معادل رشد نطفه و چیز دیگری معادل ژنی که جهش می‌یابد داشته باشیم. در نمونه کامپیوتری به صورت‌های مختلف می‌توان این ویژگی‌ها را ایجاد کرد. آن را که من انتخاب کردم و برنامه‌ام را با آن نوشتم شرح می‌دهم تا مسئله روشن باشد. اگر زیاد از کامپیوتر سر در نمی‌آورید فقط این را بدانید که کامپیوتر درست آن کاری را انجام می‌دهد که شما از او خواسته‌اید ولی اغلب باعث تعجب شما هم می‌شود. به دستوارت شما «برنامه» می‌گویند.

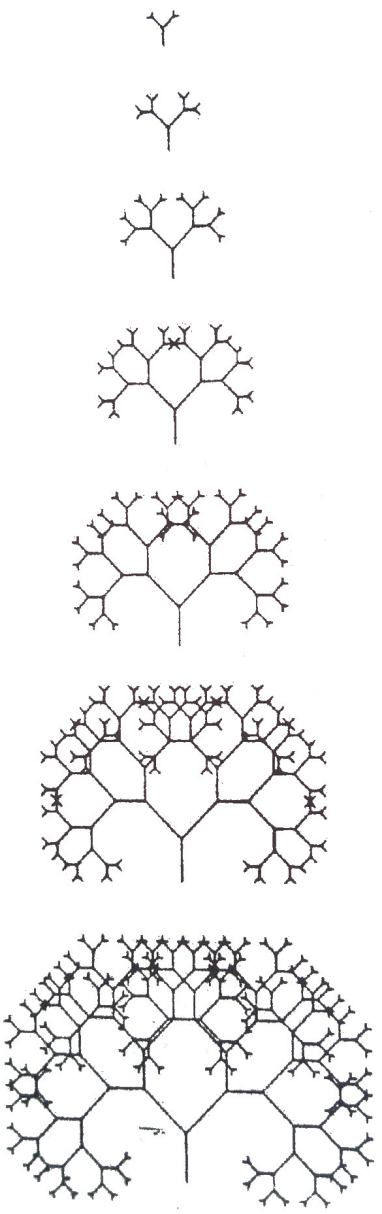
مراحل رشد نطفه پیچیده‌تر و دقیق‌تر از آن است که بشود آن را در برنامه کامپیوتری به نمایش گذاشت. ما باید صورت قیاسی و ساده شده آن را ارائه کنیم. باید قاعده ساده‌ای برای رسم شکل پیدا کنیم که کامپیوتر بتواند آن را اجرا کند. آن شکل‌ها را تحت تأثیر بعضی «ژن‌ها» تغییر دهد. از کدام دستور برای رسم شکل استفاده کنیم؟ در کتاب‌های علم کامپیوتر اغلب چیزی به نام برنامه‌ریزی recursive (تکرارپذیری) مطرح شده است که با آن می‌شود روند ساده رشد درختی را نشان داد. کامپیوتر اول یک خط عمودی می‌کشد بعد آن خط دو شاخه می‌شود بعد هر شاخه باز دو شاخه می شود. باز هر کدام دو شاخه می‌شود. همین‌طور تا آخر. به آن «تکرارپذیری» می‌گویند، چون قاعده ثابتی (در این مورد، دو شاخه شدن) در ناحیه‌ای از آن درختِ در حال رشد به کار بسته می‌شود. مهم نیست که اندازه درخت تا چه حد بزرگ شود، قاعده همان است.

تعداد دفعات شاخه‌شاخه... شدن تا زمان توقف جریان را عمق تکرار می‌نامیم. شکل ۲ نشان می‌دهد وقتی کامپیوتر در عمق‌های متفاوت این قاعده را انجام دهد چه اتفاقی رخ می‌دهد. وقتی عمق تکرار زیاد باشد تصویر به دست آمده کاملاً پیچیده است ولی شما می‌دانید فقط با استفاده از همان یک قاعده رسم شده است. البته در درخت واقعی هم همین اتفاق رخ می‌دهد. ظاهراً الگوی رشد درخت بلوط یا سیب

پیچیده است ولی درواقع این‌طور نیست. قاعده رشد شاخه‌ها ساده، یکسان و تکراری است. همه شاخه‌های در حال رشد به دو زیر شاخه و هر زیر شاخه به دو شاخه‌ی کوچک‌تر تقسیم و این تقسیم همین‌طور ادامه پیدا می‌کند. در مجموع درخت بزرگ و پیچ در پیچ و درهم دیده می‌شود.

برای نشان دادن رشد نطفه گیاهان و کلاً حیوانات می‌توان از مثال رشد شاخه‌های درخت استفاده کرد. منظور این نیست که نطفه حیوانات مثل شاخه درخت است، ولی در همه این‌ها، نطفه اولیه با تقسیم سلول رشد می‌کند. هر سلول به دو سلول تقسیم می‌شود و همواره ژن از طریق اثری که در محدوده سلول و بر روی چگونگی دو شاخه شدن و تقسیم سلولی اعمال می‌کند اثر نهایی‌اش را بر کل بدن نشان می‌دهد. در ژن حیوانات نقشه کامل و مفصل کل بدن وجود ندارد. همان‌طور که خواهیم دید، ژن‌ها به جای آن‌که نقشه کلی باشند بیش‌تر مانند یک نسخه (دستورالعمل)اند، دستورالعملی که، نه در کل فرایند رشد نطفه اولیه بلکه در هر سلول و در هر مجموعه سلول‌های حاصل تقسیم و در یک حوزه اجرا می‌شود.

شکی نیست که وقتی نطفه رشد کند و موجود بالغ شود شکلی در اندازه بزرگ خواهد داشت، من می‌خواهم بگویم این شکل بزرگ بر اثر تغییرات سلولی کوچکی که در جاهای مختلف بدنِ در حال رشد صورت می‌گیرد به وجود می‌آید و این تغییرات در درجه اول همان دو شاخه شدن یا تقسیم هر سلول به دو سلول است. بر اثر این تغییراتِ کوچکِ حوزه‌ای است که ژن‌ها در نهایت تأثیر خود را بر کل بدن موجود بالغ آشکار می‌کنند.

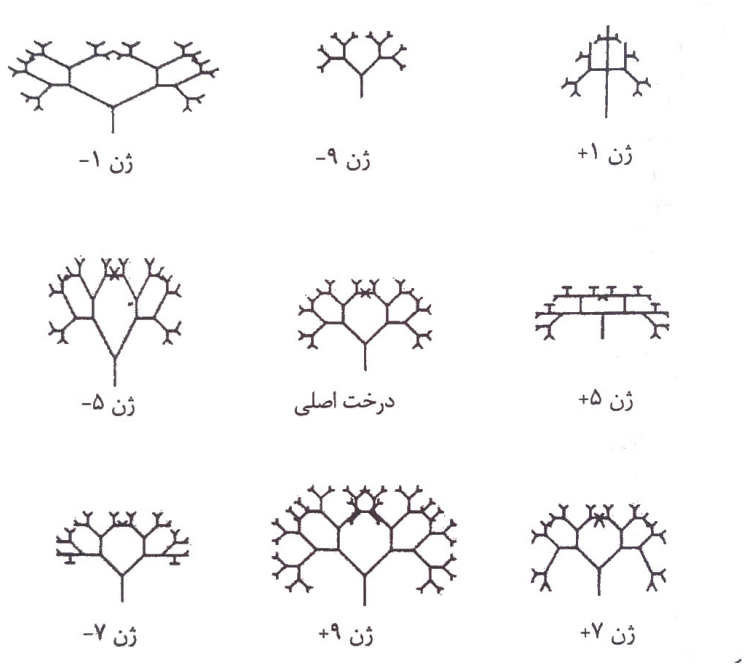


شکل ۲

به این ترتیب قاعده رشد درختی ساده را می‌توان قابل مقایسه با رشد حالت جنینی اولیه دانست. بر این اساس، آن را در قالب یک برنامه کامپیوتری کوچک به نام «رشد» گذاشته و درون برنامه بزرگ‌تری به نام «تکامل» جا می‌دهیم. به عنوان اولین گام برای نوشتن آن برنامه بزرگ‌تر باید به ژن‌ها توجه کنیم. ژن‌ها را چگونه نشان دهیم؟ در زندگی واقعی ژن دو نقش دارد یکی روی رشد اثر می‌گذارد و دیگر این‌که از نسلی به نسل‌های دیگر منتقل می‌شود. در انسان‌ها و گیاهان طبیعی ده‌ها هزار ژن وجود دارد و ما در نمونه کامپیوتری‌مان باید به ۹ ژن رضایت دهیم. هر یک از این ژن‌ها در نمونه کامپیوتری شماره خاصی دارد که ارزش آن ژن محسوب می‌شود. مثلاً ارزش یک ژن خاص ممکن است ۴ یا ۷- باشد.

حالا اثر این ژن‌ها را روی رشد چطور نشان دهیم؟ ژن‌ها به صورت‌های مختلفی روی فرایند رشد تأثیر می‌گذارند. در هر صورت باید باعث یک تغییر کمّی کوچکی در قاعده رسم درخت که **رشد** نام گرفته شوند. مثلاً یک ژن ممکن است زاویه شاخه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. ژن دیگر ممکن است در تعیین طول بعضی شاخه‌ها نقش داشته باشد. ژن دیگری می‌تواند روی اندازه عمق تکرار، یعنی تعداد دفعات شاخه‌شاخه شدن تأثیر گذارد. من این ویژگی را برای ژن شماره ۹ در نظر گرفتم. به این ترتیب شما می‌توانید در شکل ۲ تصویر هفت چیز زنده را ببینید که به هم شبیه‌اند جز در ژن شماره ۹. وارد جزئیات کار ژن‌های دیگر نمی‌شویم با بررسی شکل ۳، تصویری کلی از انواع کارهایی که آن‌ها می‌کنند خواهید داشت. در وسط تصویر درخت اصلی قرار دارد که یکی از تصاویر شکل ۲ است. دور این درخت هشت درخت دیگر هست که همه شبیه درخت اصلی‌اند جز در یک ژن. هر یک از این هشت درخت در یک ژن با درخت اصلی تفاوت دارند، یا به عبارتی در هر یک از این هشت درخت یک ژن تغییر یافته «جهشی» وجود دارد. برای مثال تصویر سمت راست درخت اصلی نشان می‌دهد وقتی به ارزش ژن شماره پنج، یکی افزوده شود چه اتفاقی می‌افتد. اگر جای کافی وجود داشت، ترجیح می‌دادم حلقه‌ای از ۱۸

جهش را دور درخت اصلی نشان دهم. به این دلیل ۱۸ جهش، چون ۹ ژن داریم و جهش هر ژن ممکن است در جهت رو به بالا (افزوده شدن یکی به ارزش آن) یا رو به پایین (کاسته شدن یکی از ارزش آن) باشد. بنابراین با یک حلقه ۱۸ تایی درخت می‌توان همه جهش‌های تک مرحله‌ای را که ممکن است در درخت اصلی صورت بگیرد نشان داد.



شکل ۳

هر یک از این درخت‌ها انگاره‌بندی ژنی خاص یا ارزش عددی ۹ ژن خود را دارد. انگاره‌بندی عددی ژن آن‌ها را ننوشته‌ایم چون به تنهایی برای شما مفهوم خاصی ندارد. در مورد ژن‌های واقعی هم همین‌طور است. ژن‌ها وقتی برای ما معنی دارند که آن‌ها را از طریق ترکیب پروتئین‌ها، به صورت قواعدی که روی رشد جنین تأثیر می‌گذارند بیان کنیم. در نمونه کامپیوتری هم، ارزش عددی این ۹ ژن وقتی به صورت

قاعده‌ای برای الگوی رشد شاخه‌شاخه‌ای در می‌آید معنا پیدا می‌کند. ولی با مقایسه شکل دو موجودی که فقط در یک ژن با هم تفاوت دارند، هم می‌توانیم تا حدی به تأثیر آن یک ژن پی ببریم. مثلاً اگر درخت اصلی را با درخت‌هایی که در دو طرفش قرار دارند مقایسه کنیم تصوری از نقش ژن شماره ۵ خواهیم داشت.

دانشمندان علم ژنتیک هم درست همین کار را انجام می‌دهند. آن‌ها هم اغلب نمی‌دانند چگونه ژن‌ها روی جنین تأثیر می‌گذارند. انگاره‌بندی کامل ژنی حیوانات را هم نمی‌دانند. ولی با مقایسه دو موجود بالغی که فقط در یک ژن تفاوت دارند، به تأثیر آن ژنِ خاص پی می‌برند. البته به همین سادگی هم نیست، چون از اثر ژن‌ها که به طریق پیچیده‌ای در تعامل با یکدیگر هستند نتایجی به بار می‌آید که خیلی پیچیده‌تر از افزایش ارزش یک ژن است. همان‌طور که شکل‌های بعد نشان می‌دهد این قضیه تا اندازه زیادی در مورد درخت‌های کامپیوتری هم صدق می‌کند.

ملاحظه می‌شود که نیمه سمت چپ و راست تصویر همه درخت‌ها قرینه‌اند من این محدودیت را روی روند رشد قرار دادم. علت آن تا حدی به خاطر رعایت زیبایی و تا حدی به خاطر کمتر کردن ژن‌های لازم است (اگر ژن‌ها اثری مانند تصاویر آینه در دو سمت درخت نداشته باشند، برای هر طرف تأثیر ژن جداگانه‌ای را باید در نظر گرفت). و تا حدی هم می‌خواستم شکلی که شبیه به بدن حیوان باشد ایجاد کنم و شکل بدن اکثر حیوانات متقارن است. به همین دلیل از این به بعد دیگر به آن‌ها درخت نمی‌گویم و اسم‌شان را «بدن» یا «بیومورف» می‌گذارم. این کلمه را اولین بار *دزموند موریس*[1] در تابلوهای سوررئالیستی‌اش برای شکل‌هایی که تقریباً شبیه حیوانات بودند به کار برد. من به نقاشی‌های او علاقه دارم و یکی را روی جلد نخستین کتابم گذاشته‌ام. *دزموند موریس* ادعا می‌کند این بیومورف‌ها در ذهن او تکامل پیدا می‌کنند و رد تکامل آن‌ها را می‌شود در نقاشی‌های متوالی او ملاحظه کرد.

---

[1] Desmond Morris

بر می‌گردیم به بیومورف‌ها در کامپیوتر و حلقه هیجده جهش ممکن که شماره‌ی ۸ آن را در شکل ۳ نشان دادیم. چون هر عضو این حلقه فقط به اندازه یک گام جهش کرده و از بیومورف‌های اصلی دور شده، می‌توان برای آسان‌تر کردن کار، اعضای این حلقه را بچه‌های موجود میانی در نظر گرفت. در مورد تکثیر هم مثل رشد، قیاس به کار می‌بریم و آن را در قالب یک برنامه کامپیوتری کوچکِ دیگر در برنامه‌ی بزرگ ما که تکامل نام دارد جا می‌دهیم.

در مورد **تکثیر** باید دو چیز را در نظر داشته باشید. اول این‌که در آن جنسیت وجود ندارد، تکثیر بدون جنس است. من بیومورف را مؤنث فرض می‌کنم زیرا حیواناتِ بدون جنس مثل مگس سبز تقریباً همیشه، از نظر شکل، ماده‌اند. دوم این‌که همه جهش‌های من یک بار رخ می‌دهند. هر فرزند فقط در یکی از ۹ ژن با مادر تفاوت دارد. به علاوه همه جهش‌ها به صورت ۱+ یا ۱- به ارزش نظیر والد افزوده می‌شود. این قراردادها دلبخواهی‌اند: می‌توان آن‌ها را به صورت‌های دیگری هم که با واقعیت در زیست‌شناسی نزدیک باشند تنظیم کرد.

این قضیه در مورد ویژگی زیر که یک اصل مهم زیست‌شناسی را تشکیل می‌دهد صادق نیست. شکل هر فرزند مستقیماً از شکل والدش مشتق نمی‌شود. شکل هر فرزند حاصل ارزش‌های نُه ژن خودش است (ژن‌ها روی زاویه‌ها، فاصله‌ها و غیر تأثیر می‌گذارند). و هر فرزند نُه ژن خود را از نُه ژن والدش می‌گیرد. در زندگی واقعی هم همین‌طور است. بدن‌ها نسل به نسل منتقل نمی‌شوند ولی ژن‌ها منتقل می‌شوند. ژن‌ها روی رشد جنینی بدنی که در آن هستند تأثیر می‌گذارند. بعد آن ژن‌ها یا به نسل بعد منتقل می‌شوند یا نمی‌شوند. با شرکت در مراحل رشد بدن، ذات ژن تغییر نمی‌کند اما احتمال انتقال آن‌ها به نسل بعد بستگی به کارآیی بدنی که ساخته است دارد، به این دلیل لازم است در نمونه کامپیوتری دو فرایند رشد و تکثیر را به صورت دو بسته‌ی کاملاً جدا ولی همراه یکدیگر در نظر بگیریم. این دو فرایند تأثیری بر هم ندارند، فقط تکثیر ارزش ژن را به رشد منتقل می‌کند که در آن‌جا قواعد بزرگ شدن

را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رشد ارزش ژن را به تکثیر برنمی‌گرداند – این کار چیزی معادل «لامارکسیم» است. (فصل ۱۱ را ببینید.)

تا این‌جا دو برنامه کوچک ساختیم و آن‌ها را رشد و تکثیر نامیدیم. تکثیر، ژن‌ها را به نسل‌های دیگر منتقل می‌کند، البته احتمال جهش هم وجود دارد. رشد ژنی را که **تکثیر** در هر نسل فراهم آورده می‌گیرد و آن‌ها را تبدیل به کارهای گرافیکی کرده و به این ترتیب آن‌ها را به صورت تصویر بدن روی صفحه کامپیوتر نمایش می‌دهد. حالا وقت آن رسیده که این دو برنامه کوچک را با هم در برنامه اصلی که **تکامل** نام دارد قرار دهیم.

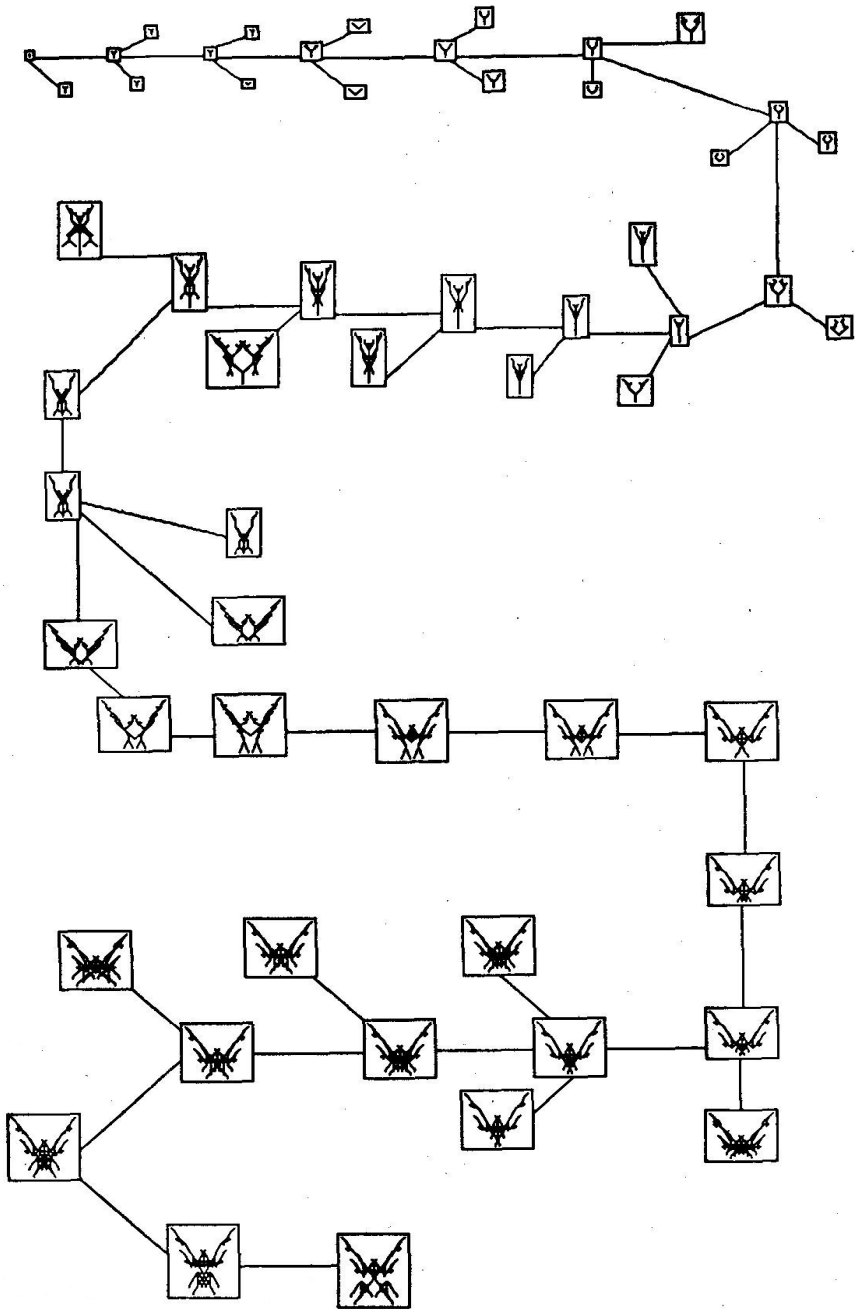
تکامل در اصل بی‌نهایت بار تکرار **تکثیر** است. **تکثیر** ژنی را که از نسل قبل گرفته به نسل بعد می‌دهد، البته احتمال وجود اشتباه تصادفی یا جهش هم وجود دارد. در هر جهش به ارزش ژنی که تصادفی انتخاب شده ۱+ یا ۱- افزوده می‌شود. به این معنی که در توالی نسل‌ها، تغییر نسبت به اجداد خیلی زیاد، ولی انباشتی و گام‌به‌گام است. گرچه جهش اتفاقی است ولی تغییرات انباشتی در نسل‌های متوالی اتفاقی نیست. تفاوت فرزند هر نسل با والدش جهتی غیرقابل پیش‌بینی دارد. اما این‌که از آن فرزندان کدام برای رسیدن به نسل بعد انتخاب شود تصادفی نیست. این همان جایی است که انتخاب داروینی مطرح می‌شود. معیار انتخاب، خود ژن‌ها نیستند، بلکه آن بدنی است که ژن‌ها روی شکل آن از طریق رشد تأثیر گذاشته‌اند.

ژن‌ها علاوه بر این‌که دوباره تولید می‌شوند، در هر نسل وارد رشد می‌شوند، رشد با رعایت قواعد خود، بدن مناسب را روی صفحه ایجاد می‌کند. در هر نسل، همه بچه‌های آن دوره (یعنی افراد نسل بعد) نشان داده می‌شود. همه این بچه‌ها، بچه‌های جهش‌یافته‌ی یک مادرند و با والد خود در یک ژن تفاوت دارند. بدیهی است که این حد جهش طبیعی نیست و حاکی از تفاوت مدل کامپیوتری با مدل واقعی است. در زندگی واقعی، احتمال جهش یافتن یک ژن کمتر از یک در میلیون است. علت

این‌که میزان جهش را در مدل کامپیوتری بالا برده‌ایم این است که چشم انسان بتواند ماجرا را در صفحه کامپیوتر ببیند، به علاوه ما آن‌قدر حوصله نداریم که یک میلیون نسل صبر کنیم تا شاید جهشی را ببینیم!

در این ماجرا، نقش چشم انسان مهم است. چشم، عامل انتخاب‌کننده است. چشم با نگاه به فرزندان یک نسل، یکی را برای ازدیاد انتخاب می‌کند. آن‌که انتخاب شده والد نسل بعد از خود می‌شود و با فرزندان جهش‌یافته‌اش در صفحه ظاهر می‌شود. نقش چشم انسان در این‌جا درست همان نقشی است که در انتخاب نژاد سگ‌ها یا انتخاب گل رز برای جایزه دادن دارد. به عبارت دیگر، انتخاب نمونه‌ها، یک انتخاب مصنوعی است نه طبیعی. بقا در این‌جا معیار موفقیت نیست. در واقعیت که انتخاب به‌طور طبیعی صورت می‌گیرد اگر بدنی بتواند به زندگی ادامه دهد، ژن‌هایش به‌طور خودکار باقی می‌ماند چون جای آن‌ها درون آن بدن است. بنابراین به‌طور خودکار، ژن‌هایی احتمال زنده ماندنشان زیاد است که بتوانند به بدن ویژگی‌های خاصی برای زنده ماندن بدهند. ولی در نمونه کامپیوتری بقا معیار گزینش نیست. مهم این است که انسان از آن خوشش بیاید. آن چیزی که بشر انتخاب می‌کند هم احتمالاً خیلی اتفاقی نیست، ما می‌توانیم تصمیم بگیریم مثلاً فقط آن‌هایی را که شبیه درخت بیدمجنون هستند انتخاب کنیم. براساس تجربه‌های من، انسان بیش‌تر چیزهای چشمگیر و مناسب اقتضای زمان را انتخاب می‌کند. این هم بی‌شباهت به بعضی موارد انتخاب در طبیعت نیست.

انسان به کامپیوتر می‌گوید کدام فرزند را زیاد کند. ژنِ آن فرزندِ برگزیده **تکثیر** شده و نسل جدیدی شروع می‌شود. این فرایند تکامل واقعی تا مدتی ادامه می‌یابد. هر نسل بیومورف‌ها فقط به اندازه یک گام جهش با نسل قبلی و نسل بعدی خود تفاوت دارد. ولی بعد از صد نسل، بیومورف به اندازه صد گام **تکاملی** از اجداد اصلی خود فاصله گرفته است. و در صدمین گامِ جهش اتفاقات زیادی می‌تواند رخ دهد.



شکل ۴

وقتی من شروع به نوشتن این برنامه جدید تکامل کردم، اصلاً تصوری از این‌که این تغییرات چطور می‌توانند باشند نداشتم. واقعاً برایم دیدن این‌که این موجودات زنده به سرعت شکل درخت بودن‌شان را از دست می‌دهند تعجب‌آور بود. گرچه دو شاخه شدن همیشه صورت می‌گرفت ولی خیلی زود به صورت خط‌هایی که مدام یکدیگر را قطع می‌کنند توده‌ای در هم و رنگی به وجود می‌آورد (که در تصویر چاپ شده سیاه وسفید است). شکل ۴، تاریخچه یک تکامل را طی ۲۹ نسل نشان می‌دهد. نسل اول موجود کوچکی است، فقط یک نقطه. گرچه بدن این نسل اول مثل یک باکتری در محل زندگی اولیه، یک نقطه است ولی در آن توانایی شاخه شاخه شدن، مثل درخت میانی شکل ۳، وجود دارد: فقط ژن شماره ۹ آن را وا می‌دارد که صفر بار تکثیر شود! همه موجودات این صفحه از آن نقطه به وجود آمده‌اند ولی برای این‌که صفحه زیاد شلوغ نشود همه‌ی زاده‌های آن نقطه را که در کامپیوتر دیدم نیاوردم. فقط فرزند موفق هر نسل (یعنی والد نسل بعد) را گرفتم و یک یا دو خواهر موفق آن را. بنابراین تصویر فقط آن مسیر تکاملی را نشان می‌دهد که سلیقه‌ی من انتخاب کرده است.

بگذارید نگاه کوتاهی به چند نسل اول مسیر اصلی تکامل در شکل ۴ داشته باشیم. در نسل دوم، نقطه به شکل ۷ تبدیل می‌شود. در دو نسل بعد آن ۷ بزرگ‌تر می‌شود. بعد شاخه‌ها کمی خم می‌شوند مثل یک سنگ‌انداز واقعی. در نسل بعد این خم شدگی بیش‌تر شده طوری‌که دو شاخه تقریباً به هم می‌رسند. در نسل ۸ هر کدام زائده‌های کوچکی پیدا می‌کنند. در نسل ۹ زائده‌ها از بین رفته‌ی دسته‌ی سنگ‌انداز بزرگ می‌شود.[۱] نسل ۱۰ شبیه بخش درونی گل است. شاخه‌های خم شده کناری، مثل گلبرگ، کاسه‌ای دور زائده اصلی یا کلاله ساخته‌اند. در نسل ۱۱، شکل همان

[۱] [به نظر می‌رسد این عبارت به درستی ترجمه نشده است. متن زبانِ اصلی:

In generation 9 these appendages are lost again, and the stem of the catapult becomes longer.

در نسل ۹ زائده‌ها از بین رفته و دسته‌ی سنگ‌انداز بزرگ می‌شود.]

گل بزرگ‌تر و کمی پیچیده‌تر شده است.

دیگر به شرح تصاویر ادامه نمی‌دهم. خود آن‌ها گویا هستند. ببینید هر نسل چطور با والد و خواهرانش کمی تفاوت دارد. چون تفاوت هر نسل با نسل قبل خود جزئی است انتظار این است که تفاوت آن با دو نسل قبل یعنی تفاوت پدربزرگ و نوه‌ها بیش‌تر باشد و تفاوت پدر پدربزرگ با نتیجه‌ها از آن هم بیش‌تر باشد. داستان تکامل انباشتی همین است، فقط ما با زیاد کردن میزان جهش، سرعت آن را به‌طور غیرطبیعی بالا برده‌ایم. به همین علت، شکل ۴ به جای این‌که دودمان افراد موجود را نشان دهد بیش‌تر مثل این است که دودمان گونه‌های مختلف را به نمایش گذاشته است. به هر حال، اصل موضوع یکی است.

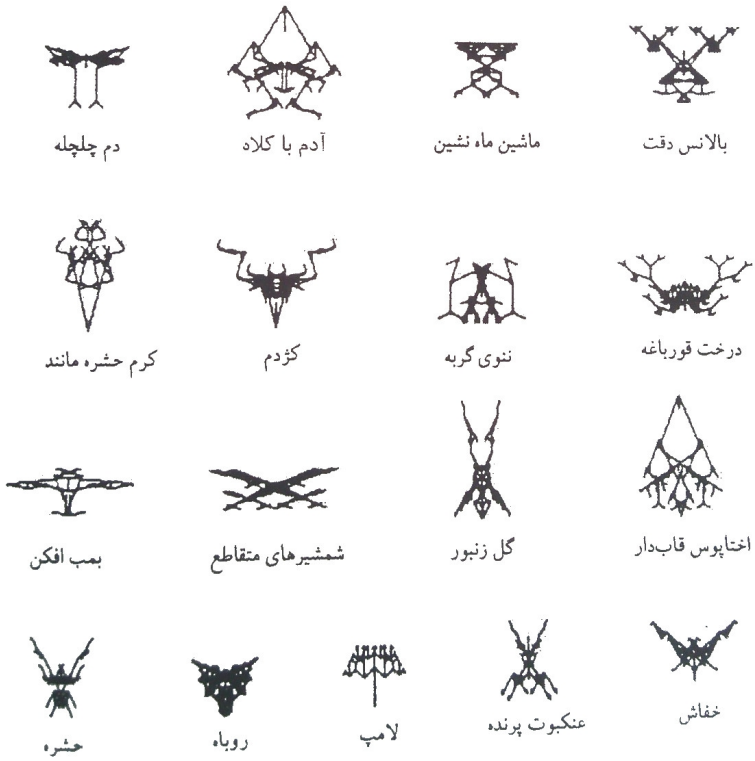
وقتی این برنامه را می‌نوشتم، اصلاً فکر نمی‌کردم حاصل کار بی‌شباهت به درخت از آب درآید. به نظرم می‌رسید به چیزی شبیه درخت بید مجنون، سرو لبنان، درخت تبریزی، جلبک دریایی و شاید شاخ‌های گوزن برسم. شم زیست‌شناسی و تجربه ۲۰ ساله برنامه‌نویسی با کامپیوتر و حتی تصورات پراکنده‌ام هیچ‌کدام مرا آماده دیدن آن‌چه روی صفحه آمد نکرده بودند. دقیقاً یادم نیست در این توالی، چه وقت آن موجود به حشره شباهت پیدا کرد. بدون این‌که چیز خاصی در نظرم باشد، به تولید آن‌ها که بیش‌تر شبیه حشره بودند در نسل‌های پشت سر هم ادامه دادم. شگفتی من با ادامه کار بیش‌تر می‌شد. نتیجه کار را در پایین شکل ۴ می بینید. به جای این‌که مثل حشرات ۶ پا داشته باشند مثل عنکبوت هشت پا دارند. هنوز نمی‌توانم از بیان شادی و ذوق‌زدگی‌ام در اولین باری که این موجودات مقابل چشمانم پیدا شدند، خودداری کنم. به وضوح سرود پیروزی *Also sparch Zarathustra* (تم ۲۰۰۱) را در گوش جانم می‌شنیدم. غذا نمی‌توانستم بخورم و آن شب حشره‌ها پشت پلک چشم‌هایم بالا پایین می‌رفتند و نمی‌گذاشتند بخوابم.

در بازار نوعی بازی کامپیوتری وجود دارد که در آن شخص احساس می‌کند دارد

از دالان‌های پیچ در پیچ زیرزمینی می‌گذرد و با انواع هیولاها و موجودات وحشتناک و عجیب افسانه‌ای روبرو می‌شود. در این بازی‌ها، معمولاً تعداد آن موجودات ترسناک محدود است و همه‌ی آن مسیرها را یک انسان برنامه‌ریز طراحی می‌کند. در بازی تکامل، چه در نمونه کامپیوتری چه در واقعیت، شخصی که بازی می‌کند (یا یک مشاهده‌گر) همان احساس سرگردانی در راهروهای پیچ در پیچ را پیدا می‌کند با این تفاوت که تعداد راهها و مسیرها بی‌نهایت و هیولاهای سر راه، طراحی نشده و غیرقابل پیش‌بینی‌اند. من در سفر به سرزمین بیومورف‌ها به خرچنگ‌های افسانه‌ای، معابد آزتک، پنجره‌های کلیساهای سبک گوتیک، تصاویر ابتدایی کانگوروها و در یک موقعیت نه خیلی دقیق ولی به یاد ماندنی به کاریکاتوری تقریباً پذیرفتنی از *ویکهام*، استاد منطق برخوردم. شکل ۵ مجموعه دیگری از انبار غنائم مرا نشان می‌دهد که همه به همان طریق ساخته شده‌اند. می‌خواهم تأکید کنم که در این تصاویر اصلاً ذوق هنری دخالت نداشته و هیچ گونه دستکاری و جابه‌جایی صورت نگرفته است. همانی هستند که در فرایند تکامل در کامپیوتر ظاهر شده‌اند. عامل انتخاب چشم انسانی است که کارش گزینش از میان فرزندهای تصادفیِ جهش‌یافته در طول نسل‌های متوالی تکاملِ انباشتی است.

حالا نمونه‌ای از تکامل داریم که خیلی به واقعیت نزدیک‌تر است، بیش‌تر از آن میمونی که می‌خواست نوشته شکسپیر را تایپ کند. گرچه هنوز اشکالاتی دارد. این مدل به ما چگونگی انتخاب انباشتی را در تولید انواع بسیار زیادی از ساخت های شبه زنده نشان می‌دهد ولی از انتخاب مصنوعی استفاده می‌کند نه از انتخاب طبیعی. چشم انسان کارِ گزینش را انجام می‌دهد. آیا می‌شود کاری کنیم که کامپیوتر خودش بر اساس یک معیار زیست‌شناختی واقعی این انتخاب را انجام دهد؟ انجامش خیلی هم آسان نیست. بد نیست برای توضیح علت آن کمی وقت صرف کنیم.

وقتی بتوانیم ژن همه حیوان‌ها را بخوانیم، انتخاب یک انگاره‌بندی[۱] ژنی خاص کار بسیار آسانی است. ولی انتخاب طبیعی ژن‌ها را مستقیماً انتخاب نمی‌کند، اثر ژن‌ها بر بدن را مورد گزینش قرار می‌دهد که اصطلاح فنی آن اثر فنوتیپیک[۲] است. چشم انسان در انتخاب اثر فنوتیپکی مهارت دارد، همان‌طور که در انواع متعدد نژادهای سگ، گاو و کبوتر و همچنین اگر بشود گفت، در تصاویر شکل ۵ می‌بینید. برای این‌که کامپیوتر اثر فنوتیپکی را مستقیماً انتخاب کند باید برای تشخیص طرح برنامه‌ای خیلی مفصل نوشته شود.



شکل ۵

۱ Formula

۲ Phenotypic effect

برنامه‌های تشخیص طرح وجود دارند، از آن‌ها برای خواندن نوشته‌های چاپ شده و حتی دست‌نویس‌ها استفاده می‌کنند. این برنامه‌ها مشکل و تا حدی هنری هستند و در کامپیوترهای مجهز و سریع قابل اجرایند. حتی اگر چنین برنامه‌ای فراتر از توانایی برنامه‌نویسی من و فراتر از توانایی کامپیوتر ۶۴ کیلو بایتی‌ام نبود، باز زحمت انجام این کار را به خودم نمی‌دادم. این کار را چشم انسان همراه با کامپیوتر ده گیگا نرونی داخل جمجمه‌اش، بهتر انجام می‌دهد.

اگر بخواهیم کاری کنیم که کامپیوتر ویژگی‌های کلی و غیردقیق مثل بلندی و باریکی، کوتاهی و کلفتی، شاید مخفی بودن، تیغ تیغی بودن، حتی داشتن تزئینات اضافی را انتخاب کند مشکل نیست. یک راهش این است که ویژگی‌هایی که را در گذشته به درد انسان خورده‌اند به کامپیوتر بدهیم و بخواهیم که در آینده انواع شبیه آن‌ها را انتخاب کند. ولی این کار ما را به شبیه‌سازی انتخاب طبیعی نزدیک‌تر نمی‌کند. مسئله مهم این است که طبیعت برای انتخاب به نیروی محاسبه نیاز ندارد. جز در مواردی خاص، مانند آن‌جا که طاووس نر را انتخاب می‌کند. در طبیعت عامل انتخاب مستقیم، محکم و ساده است. عزرائیل بی‌رحمی است. البته دلایل بقا را نباید دست کم گرفت و بی‌جهت نیست که حاصل انتخاب طبیعی گیاهان و جانوارنی هستند که چنین پیچیدگی حساب شده‌ای دارند. ولی مرگ چیزی ساده و خام است. در طبیعت تنها چیزی که در انتخاب فنوتیپ‌ها نقش دارد مرگ غیرتصادفی و در نتیجه از بین رفتن ژن‌ها در آن‌هاست.

برای این‌که شبیه‌سازی انتخاب طبیعی را در کامپیوتر جالب کنیم باید همه تزئینات اضافی و دیگر ویژگی‌های دیداری تعریف شده را کنار بگذاریم. به جای آن‌ها، روی بازسازی مرگ غیرتصادفی تمرکز کنیم. بیومورف‌ها در کامپیوتر، باید با یک محیط زیست دشمن‌گونه در تعامل باشند. آن‌چه که تعیین می‌کند این موجودات در این محیطِ زیست زنده خواهند ماند یا نه به شکل آن‌ها مربوط می‌شود. در شرایط آرمانی، در آن محیط زیست دشمن‌گونه موجوداتی دیگر نیز در حال تکامل‌اند مانند

حیوانات شکارچی، طعمه‌ها، انگل‌ها و رقبا. شکل بدن بیومورفِ طعمه در این‌که او در معرض خطر و گرفتار شدن توسط شکل خاصی از موجودات غالب باشد تعیین کننده است. برنامه‌نویس معیارهای آسیب‌پذیری یا در معرض خطر بودن را تعیین نمی‌کند. آن‌ها مانند شکل بدن آن موجودات خودبه‌خود در برنامه پیدا می‌شوند. بعد واقعاً در کامپیوتر تکامل رخ می‌دهد چون شرایط مبارزه مسلحانه برای بقا فراهم آمده است، (فصل ۷ را ببینید)، و من جرأت ندارم فکرش را بکنم که کار به کجا خواهد کشید. متأسفانه فکر می‌کنم برپا ساختن چنین دنیای پر از درگیری، فراتر از توانایی من در برنامه‌نویسی باشد.

اگر کسی آن‌قدر زرنگ باشد که بتواند چنین برنامه‌ای بنویسد، حتماً باید از همان کسانی باشد که بازی‌های پر سر و صدا و عامه‌پسندی مثل انواع فاتحان فضا را می‌سازند. در این برنامه‌ها جهان پر درگیری شبیه‌سازی می‌شود. موجودات در فضای سه بُعدی به یکدیگر دور و نزدیک می‌شوند، به هم تنه می‌زنند و همدیگر را پرتاب می‌کنند و در میان سر و صداهای تهوع‌آور یکدیگر را می‌بلعند. این برنامه‌ها طوری ساخته می‌شوند که شخصی که کنترل بازی را در دست دارد خودش را هم جزئی از آن جهانِ پُر تنش احساس می‌کند. به نظر من اوج این نوع برنامه‌ریزی در مسیر دالان‌ها و راهروهایی که برای آموزش خلبانانِ هواپیماها و فضاپیماهاست به دست می‌آید. البته این‌جور برنامه‌ها نسبت به برنامه‌ای که باید برای مشابه‌سازی رقابت تسلیحاتی بین موجودات وحشی و قربانی آن‌ها در یک زیست‌بوم نوشته شود بسیار پیش پا افتاده‌اند. با این حال این کار انجام شدنی است و خوشحال می‌شوم اگر برنامه‌نویسی حرفه‌ای علاقه‌مند به پا گذاشتن در این میدان باشد مرا با خبر کند.

در این بین، کار دیگری هست که خیلی آسان‌تر است و من خیال دارم تابستان آینده آن را امتحان کنم. کامپیوتر را در یک جای سایه در باغ می‌گذارم. صفحه‌اش رنگی است. از قبل برنامه‌ای دارم که در آن چند ژن برای کنترل رنگ وجود دارند، درست همان‌طور که آن ۹ ژن شکل بدن موجودات را کنترل می‌کردند. کار را با

حیوانات جمع و جوری که دارای رنگ‌های روشن باشند شروع می‌کنم. در کامپیوتر همزمان یک سری فرزندان جهش‌یافته موجودی را که از نظر شکل و (یا) رنگ با آن تفاوت دارند نشان می‌دهم. فکر می‌کنم زنبور، پروانه و حشرات دیگر صفحه کامپیوتر را ببینند و با جمع شدن روی نقطه خاصی از صفحه آن‌جا را انتخاب کنند. وقتی تعداد انتخاب مشخص شد، صفحه کامپیوتر پاک می‌شود و آن ساخت‌هایی که مورد توجه قرار گرفته‌اند، تکثیر می‌شوند و نسلِ بعدِ فرزندانِ جهش‌یافته را به نمایش می‌گذارند.

خیلی امیدوارم که، در طول چند نسل، حشرات وحشی عملاً باعث تکامل گل‌ها در کامپیوتر شوند. اگر این‌طور شود، گل‌های کامپیوتری من درست به همان روشی تکامل می‌یابند که در طبیعت گل‌های صحرا تکامل پیدا می‌کنند. آن چیزی که مرا امیدوار می‌کند این واقعیت است که حشرات اغلب روی طرح‌های روشن و چشمگیر لباس خانم‌ها می‌نشینند (در آزمایش‌های دقیق نیز چنین چیزی گزارش شده است). یک امکان دیگر که به نظرم از این هم جالب‌تر است، این است که حشره‌های وحشی احتمالاً باعث تکامل شکل‌های حشره مانند می‌شوند. پیش‌زمینه این نظر – و بنابر این باعث امیدواری – این است که زنبورها در گذشته باعث تکامل گل ثعلب[1] شده‌اند. زنبورهای نر طی نسل‌ها با گل‌ها جفت شده و گرده آن‌ها را جابجا کرده‌اند، در این مدت با تکامل انباشتی این شباهت را ایجاد کرده‌اند. گل ثعلب شکل ۶ را رنگی در نظر بیاورید. اگر زنبور بودید به طرفش نمی‌رفتید؟

یک چیز نگرانم می‌کند و آن این است که بینایی حشره با چشم ما تفاوت دارد. صفحه‌ی کامپیوتر مناسب چشم ماست نه چشم زنبور. یعنی گرچه ما، و زنبورها گل ثعلب را، به صورت‌های متفاوت می‌بینیم ولی ممکن است زنبورها اصلاً تصاویر روی صفحه کامپیوتر را نبینند. ممکن است آن را فقط ۶۲۵ خط موازی ببینند. در هر صورت این آزمایش به امتحانش می‌ارزد و تا زمان انتشار این کتاب نتیجه آن را

[1] Bee orchid

یافته‌ام.

خیلی‌ها با لحنی که *استفن پاتر*[۱] آن را شل و ول می‌نامد، می‌گویند شما نمی‌توانید بیش از آن‌چه به کامپیوتر می‌دهید از آن بگیرید. روایت دیگرش این است که کامپیوتر درست همان کاری را انجام می‌دهد که از او خواسته‌اید و هیچ خلاقیتی ندارد. این گفته فقط در یک مفهوم خیلی جزئی درست است، به همان مفهوم که می‌گویند شکسپیر هرگز چیزی ننوشت جز آن‌چه اولین معلم مدرسه‌اش به او یاد داد – کلمه. من برنامه کامپیوتری تکامل را نوشتم ولی موجود خاصی مثلاً حشره عقرب، هواپیمای بمب‌افکن یا جانور ماه‌نشین را در نظر نداشتم. کوچک‌ترین گرایش به این‌که نتیجه چه باشد و چه چیز پیدا شود نداشتم، فکر می‌کنم به همین دلیل «پیدا شدن» واژه مناسبی برای این کار باشد. چشم انتخاب می‌کرد و روند تکامل پیش می‌رفت. در هر مرحله فقط باید از چند بچه‌ای که با جهش تصادفی تولید شده بودند انتخاب می‌کردم و راهکار انتخاب من به اقتضای زمان بودن، دلبخواهی و کوتاه مدت بود. هیچ هدف دوری را در نظر نداشتم. همان‌طور که طبیعت ندارد.

شاید بد نباشد بگویم، یک بار که خواستم هدفی را در نظر بگیرم و پیش بروم چه بر سرم آمد. شاید خودتان حدس زده باشید. ماجرای تکامل در شکل ۴ یک دوباره‌سازی است. این اولین باری نبود که حشره‌هایم را می‌دیدم. اولین باری که این حشره‌ها با صدای شیپور ظاهر شدند وسیله‌ای برای ثبت ژن‌هایشان نداشتم. آن‌ها روی صفحه کامپیوتر بودند ولی من نمی‌توانستم بگیرمشان و ژن‌هایشان را بشناسم. در خاموش کردن کامپیوتر درنگ کردم، به مغزم فشار می‌آوردم راهی پیدا کنم که آن‌ها را نگه دارم ولی فایده‌ای نداشت. ژن‌ها در آن اعماق گم و گور شده بودند همان‌طور که در واقعیت این‌طور است. می‌توانستم از شکل بدن آن «حشرات» نسخه‌ای بگیرم ولی ژن آن‌ها را گم‌کرده بودم. فوراً برنامه را طوری تغییر دادم که انگاره‌بندی ژنی آن‌ها را ضبط و قابل دسترسی کند. ولی دیگر دیر بود و من

[۱] Stephen Potter

حشره‌هایم را از دست داده بودم.

عزمم را جزم کردم دوباره پیدایشان کنم. آن‌ها یک بار مراحل تکامل را پشت سر گذاشته بودند و به نظر می‌رسید می‌شود دوباره ایجادشان کرد، مانند سرود گمشده روح مرا تسخیر کرده بودند. من سرگردان در سرزمین بیومورف‌ها در میان دورنماهای بی‌انتهای موجودات و چیزهای عجیب می‌گشتم ولی نمی‌توانستم حشره‌ای بیابم. می‌دانستم که باید جایی همان دور و بر مخفی شده باشند. ژن‌هایی را که مبدأ کار بودند و تکامل را از آن‌ها شروع کرده بودم می‌شناختم. تصویری هم از بدن حشرات داشتم. حتی از مراحل تکامل که از یک نقطه شروع و به بدن حشره‌ها ختم می‌شد تصاویری داشتم. ولی انگاره‌بندی ژنی آن‌ها را نمی‌دانستم.

شاید فکر کنید یافتن مسیر تکامل آسان باشد ولی این‌طور نبود. دلیل‌اش که بعداً هم به آن مراجعه می‌کنیم، تعداد بسیار زیاد یا نجومی بیومورف‌هایی است که در مسیر یک تکامل پیدا می‌شوند، حتی وقتی‌که فقط ۹ ژن متغیر وجود داشته باشد. در بعضی از سفرهای زیارتی‌ام به سرزمین بیومورف‌ها احساس کردم به رده‌ای از حشرات نزدیک شده‌ام ولی علی‌رغم نهایت کوششم در انتخاب مناسب، معلوم شد که به اشتباه رفته‌ام و از آن‌چه در پی‌اش هستم خبری نیست. سرانجام ضمن پرسه زدن‌هایم در مسیرهای تکامل در سرزمین بیومورف‌ها دوباره گیرشان انداختم. احساس موفقیت در این بار دست‌کم از بار اول نداشت. نمی‌دانستم (هنوز هم نمی‌دانم که آیا این حشره‌ها درست همان حشره‌های اصلی من، همان حشره‌های «سرود گمشده زرتشت» بودند یا ظاهراً به آن‌ها شباهت داشتند (فصل بعد را ببینید) در هر صورت خدا را شکر. این بار حواسم را جمع کردم. انگاره‌بندی ژنیِ آن‌ها را یادداشت کردم و حالا هروقت بخواهم می‌توانم دوباره آن‌ها را بسازم.

آری داستان را یک کم زیادی دراماتیک کردم ولی یک نکته بسیار مهم این‌جاست. با وجودی که من برنامه کامپیوتر را با دقت نوشته و گفته بودم چه کار

کند اما برای موجودات حاصل از تکامل برنامه‌ای نداشتم و وقتی‌که اولین بار شکل‌های مقدماتی آن‌ها را دیدم از تعجب شاخ در آوردم. آن‌قدر کنترل تکامل خارج از دستم بود که حتی تکرار دوباره مسیر یک تکامل برایم غیرممکن بود. بعید می‌دانم بدون تصاویر چاپ شده‌ی مراحل تکامل، می‌توانستم آن حشره‌ها را پیدا کنم. با داشتن آن عکس‌ها هم کار کُند و مشکل بود. آیا ناتوانی برنامه‌نویس در کنترل یا پیش‌بینی سیر تکامل در کامپیوتر حاکی از نوعی تناقض است؟ مثلاً می‌تواند به این معنی باشد که در کامپیوتر چیزی اسرارآمیز یا غیرواقعی وجود دارد؟ البته که این‌طور نیست. در تکامل گیاهان و جانوران واقعی هم چیز افسانه‌ای وجود ندارد. با استفاده از نمونه کامپیوتری می‌توان این تناقض را حل کرد و از آن چیزهایی درباره فرایند تکامل واقعی آموخت.

حل این تناقض را می‌شود چنین پیش‌بینی کرد. مجموعه مشخصی از بیومورف‌ها وجود دارد. هر بیومورف همیشه در جایگاهِ ثابت خود در یک فضای ریاضی‌گونه قرار دارد. «همیشه در جای خود قرار دارد» به این مفهوم است که اگر شما انگاره‌بندی ژنی آن را بدانید، می‌توانید فوراً پیدایش کنید؛ به علاوه در این فضای خاص، همسایگانش بیومورف‌هایی هستند که هر کدام فقط در یک ژن با او تفاوت دارند. حالا که من انگاره‌بندی ژنی حشره‌هایم را می‌دانم، هر گاه بخواهم می‌توانم آن‌ها را تولید کنم و می‌توانم به کامپیوتر دستور دهم از هر نقطه دلخواهی جهت تکامل را به سوی آن‌ها سوق دهد. وقتی آدم اولین بار در برنامه کامپیوتری با انتخاب مصنوعی موجودی را می‌سازد، احساس می‌کند چیزی آفریده است. واقعیت هم همین است. اما در اصل شما آن موجود را پیدا کرده‌اید، چون از نظر ریاضی، آن موجود در فضای ژنی سرزمین بیومورف‌ها در جایگاه خود وجود داشته است. دلیل این‌که چرا این کار نوعی آفرینش به نظر می‌رسد این است که پیدا کردن یک موجود خاص، کار فوق‌العاده مشکلی است، دقیقاً به این علت که سرزمین، بسیار وسیع و تعدادِ موجوداتِ احتمالیِ آن، چیزی نزدیک به بی‌نهایت است. در این سرزمین فقط

با تصادف و جستجوی بی‌هدف نمی‌توان راه به جایی برد.

بعضی خوش‌باورها فکر می‌کنند که کامپیوترهای شطرنج‌باز همه حالات ممکن حرکت مهره‌های شطرنج را بررسی می‌کنند. وقتی از کامپیوتر می‌بازند این فکر به آن‌ها آرامش می‌دهد، ولی فکرشان کاملاً اشتباه است. تعداد حرکات ممکن در شطرنج بی‌نهایت زیاد است: فضای جستجو میلیاردها بار بزرگ‌تر از آن است که با جستجوی بی‌هدف بتوان به جایی رسید. در نوشتن یک برنامه خوب برای شطرنج، هنر این است که راه‌های کوتاه کارآمدی در فضای مورد جستجو پیدا کنیم. انتخاب انباشتی چه در انتخاب مصنوعی مثل برنامه کامپیوتر و چه در انتخاب طبیعی که در دنیای واقعی صورت می‌گیرد. روش مؤثری برای جستجو است و نتایج آن خیلی به راهکارهای هوش خلاق شباهت دارد. و بالاخره همان منظور *ویلیام پالی* است وقتی در برهان‌هایش از طرح صحبت می‌کند. از نظر فنی، وقتی در کامپیوتر بازی بیومورف‌ها را انجام می‌دهیم، درواقع در مفهوم ریاضی موجوداتی را پیدا می‌کنیم که آن‌جا منتظر نشسته‌اند کسی پیدایشان کند. به همین علت این کار با احساس خلاقیت همراه است. در بازی قایم باشک جوینده احساس خلاقیت ندارد. وقتی فضای جستجو کوچک باشد، اگر چیزهای آن را به‌طور تصادفی در هم کنیم، احتمال یافتن چیز مورد نظر دور از انتظار نیست. ولی وقتی فضا بزرگ‌تر می‌شود، روش‌های جستجو باید حساب‌شده‌تر باشد. وقتی فضای جستجو حسابی بزرگ شد، دیگر فرایند جستجو دست‌کم از خلاقیت واقعی نخواهد داشت.

نمونه‌های کامپیوتریِ بیومورف‌ها این نکته را به خوبی آشکار می‌کنند، آن‌ها ارتباطی آموزنده برقرار می‌کنند بین فرایندهای خلاق بشری مانند برنامه‌ریزی راهکارهای موفق در بازی شطرنج و خلاقیت در انتخاب طبیعی تکامل. یا همان ساعت‌ساز نابینا. برای این‌که بهتر متوجه شویم بد نیست بحث سرزمین بیومورف‌ها را در مفهوم ریاضی آن کمی بسط داده و در ذهن و فکرمان آن را به صورت دنیایی بی‌انتها ولی بانظم که پر از موجودات گوناگون است مجسم کنیم که در آن هر موجود

در جایگاه خاص خود منتظر نشسته تا کشف شود. ۱۷ موجود شکل ۵ ترتیب خاصی در آن صفحه ندارند. اما در سرزمین بیومورف‌ها، هر موجود جایگاه منحصر به فرد خود، جایگاهی که انگاره‌بندی ژنی‌اش آن را تعیین می‌کند، و همسایگان خاص خود را دارد. همه موجودات سرزمین بیومورف‌ها رابطه فضایی معینی با یکدیگر دارند. معنی این چیست؟جایگاه فضایی را چگونه تعریف می‌کنیم؟

فضایی که از آن صحبت می‌کنیم فضای ژنی است. هر موجود زنده موقعیت خاصی در این فضای ژنی دارد. همسایگان نزدیک موجوداتی هستند که فقط یک جهش با هم تفاوت دارند. در شکل ۳ درخت اصلی که در وسط است، ۱۸ همسایه بلافصل می‌تواند داشته باشد که هشت‌تای آن‌ها را در شکل می‌بینیم. بر اساس قواعد نمونه کامپیوتریِ ما این ۱۸ همسایه، فرزندان متفاوتی هستند که آن موجود میانی ممکن است داشته باشد و از همین ۱۸ همسایه، ۱۸ نوع متفاوت والد می‌تواند به وجود آید. یک گام جلوتر برویم، هر موجود ۳۲۴(۱۸×۱۸، برای راحتی از جهش‌های بازگشتی صرف نظر کرده‌ایم) همسایه دارد، مجموعه‌ای که شامل نوه‌ها، مادربزرگ‌ها، خاله‌ها و خواهرزاده‌های احتمالی است. یک قدم دیگر جلو برویم هر موجود ۵۸۳۲ (۱۸×۱۸×۱۸) همسایه دارد که مادر مادربزرگ‌ها، نتیجه‌ها، دخترخاله‌های احتمالی و غیره را شامل می‌شود.

در نظر گرفتن فضای ژنی چه فایده دارد؟ ما را به کجا می‌رساند؟ جواب این است که ما را در مسیری هدایت می‌کند که تکامل را به عنوان یک فرایند تدریجی و انباشتی درک کنیم. براساس قواعد نمونه کامپیوتری، در هر نسل فقط یک گام می‌شود در فضای ژنی جابه‌جا شد. در این فضا در ۲۹ نسل، حرکتی دورتر از ۲۹ گام از نقطه شروع مقدور نیست. تاریخچه هر تکامل شامل تحولات خاص یا طی مسیر معینی در فضای ژنی است. مثلاً تاریخچه تکامل ثبت شده در شکل ۴ مسیر منحنی خاصی را در دنیای ژنی می‌پیماید و بعد از طی ۲۸ مرحله میانی از یک نقطه به یک حشره می‌رسد. وقتی از استعاره «پرسه زدن» در سرزمین بیومورف‌ها استفاده می‌کنم

منظورم طی همین مسیر است.

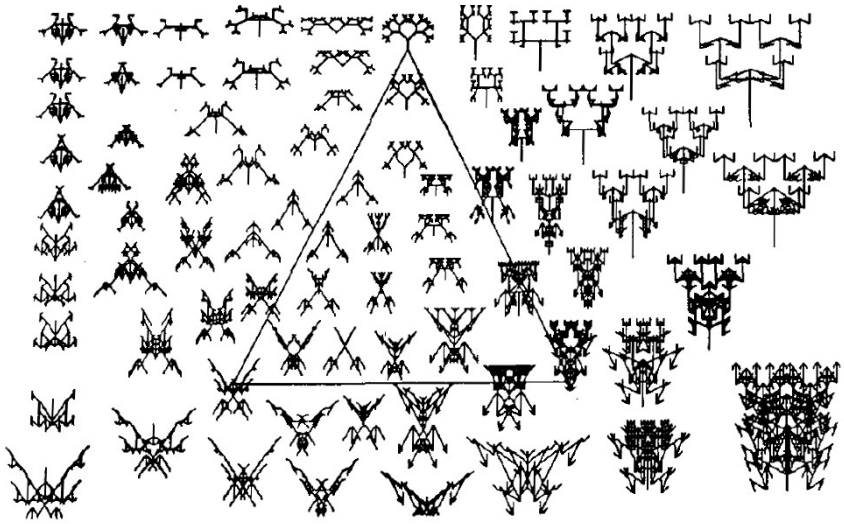
من قصد داشتم این فضای ژنی را به صورت تصویر ارائه کنم. مشکل این است که عکس‌ها ۲ بُعد دارند. فضایی که بیومورف‌ها در آن قرار می‌گیرد ۲ بُعدی نیست ۳ بُعدی هم نیست. یک فضای ۹ بُعدی است! (در ریاضی مهم این است که نترسید، شاید به سختی ریاضت روحانی شدن نباشد. هر وقت چیزی مرا می‌ترساند یاد گفته معروف *سیلوانس تامپسون*[۱] در کتاب *حساب آسان*[۲] می‌افتم: آن‌چه را یک کودن بفهمد، کودن دیگر هم می‌تواند بفهمد) اگر می‌شد چیزی را در فضای ۹ بُعدی رسم کرد، می‌توانستیم هر بُعد را به یک ژن اختصاص دهیم. جایگاه هر حیوان خاص مثلاً کژدم، خفاش یا حشره، در فضای ژنی به وسیله ارزش عددی آن ۹ ژن مشخص می‌شود. تحول تکاملی شامل یک حرکت گام‌به‌گام در ۹ بُعد آن است. تفاوت ژنی بین دو موجود و بنابراین تفاوت زمانی که مراحل تکاملی آن‌ها طول کشیده و سختی مراحل تبدیل یک موجود به دیگری به عنوان فاصله ژنی در آن دنیای ۹ بُعدی در نظر گرفته و سنجیده می‌شود.

افسوس که نمی‌توان در فضای ۹ بُعدی چیزی رسم کرد. من در جستجوی یافتن راهی بودم که در تصویر ۲ بُعدی بتوانم احساس بودن و حرکت کردن در فضای ژنی ۹ بُعدیِ سرزمینِ بیومورف‌ها را ایجاد کنم. این کار را به روش‌های متفاوتی می‌توان انجام داد، من راهی را انتخاب کردم که خودم اسمش را کَلَک مثلث گذاشتم. شکل ۶ را ببینید. در سه گوشه مثلث سه بیومورف اختیاری قرار دارد. آن‌که بالاست، درخت اصلی است، در سمت چپ یکی از حشره‌های من و در سمت راست یک چیز بی‌اسم که به نظرم قشنگ آمد قرار دارد. هر یک از این بیومورف‌ها مثل همه بیومورف‌ها، انگاره‌بندی ژنی خاص خود را دارد که جایگاه منحصر به فرد آن را در فضای ۹ بُعدی ژنی تعیین می‌کند.

---

۱ Silvanus P. Thompson

۲ Calculus Made Easy



شکل ۶

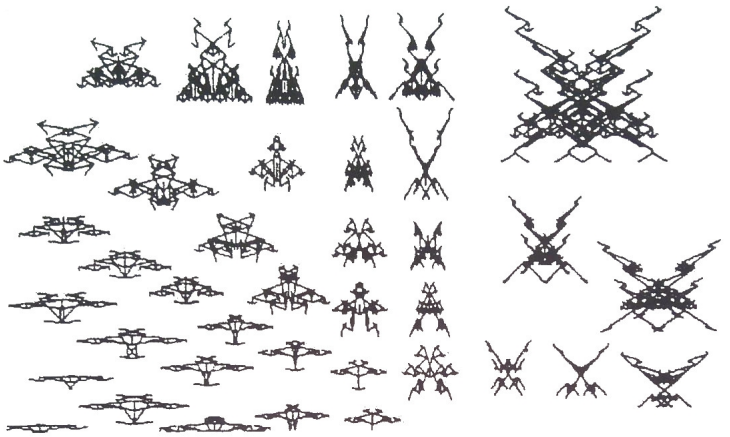
این مثلث در سطح صاف یک صفحه ۲ بُعدی قرار گرفته و آن صفحه یک فضای غیرمعمول ۹ بُعدی را قطع می‌کند (آن‌چه را یک کودن بفهمد، کودن دیگر هم می‌تواند بفهمد.) این صفحه را می‌شود مثل یک قطعه کوچک از جنس شیشه در نظر گرفت که در میان ژله فرو کرده باشیم. روی آن صفحه شیشه‌ای، مثلث و چند ساخت زنده دیگر رسم شده به‌طوری‌که فرمول هر کدام تعیین کننده جایگاهش در آن صفحه خاص است جایگاه آن‌ها را نسبت به چه چیز می‌سنجیم؟ در این‌جا آن سه بیومورف که در گوشه‌های مثلث بودند وارد بازی می‌شوند. این سه موجود بیومورف‌های لنگر نامیده می‌شوند.

یادتان باشد خلاصه مفهوم «فاصله» در دنیای ژنی این است که موجوداتی که دارای ساخت ژنی مشابه‌اند همسایه‌های نزدیک و موجودات دارای ساخت ژنی متفاوت همسایه‌های دورند. در این صفحه خاص فاصله‌ها نسبت به سه بیومورف لنگر در نظر گرفته می‌شود. برای هر نقطه مفروض در صفحه شیشه‌ای، چه داخل

مثلث باشد چه خارج آن، انگاره‌بندی ژنی را محاسبه و آن را یک میانگین وزنی[۱] فرمول ژنی آن سه موجود لنگر محسوب می‌کنیم. شما متوجه شده‌اید که این وزن‌یابی چگونه انجام می‌شود. این کار با استفاده از فاصله‌ها، یا بهتر بگوییم نزدیکی آن نقطه به ساخت‌های لنگر صورت می‌گیرد. بنابراین هرچه به حشره‌ای روی صفحه نزدیک‌تر باشید، ساخت‌های زنده حشره‌مانند بیش‌تر دارید. وقتی‌که در روی شیشه به طرف درخت می‌روید، حشره کم‌کم شباهتش را به حشره از دست داده و به درخت شبیه‌تر می‌شود. اگر در قسمت مرکزی مثلث بگردید حیواناتی که می‌بینید، مثلاً عنکبوتی که روی سرش یک چلچراغ هفت شاخه یهودی دارد، حاصل فرایندهای ژنی سه بیومورف لنگر است. ولی در این نوع بررسی اهمیت زیادی به بیومورف‌های لنگر داده می‌شود. باید گفت کامپیوتر از آن‌ها برای محاسبه انگاره‌بندی ژنی مناسب هر نقطه در این تصویر استفاده کرده است. اما در عمل، هر سه نقطه لنگر روی صفحه کلک زده‌اند و نتایجی مثل هم داده‌اند. به این دلیل در شکل ۷ مثلثی نکشیده‌ام. شکل ۷ دقیقاً مانند شکل ۶ است ولی صفحه‌ی دیگری را نشان می‌دهد. همان حشره سمت راستی یکی از سه نقطه لنگر است، این بار سمت راست است. در این حالت، در گوشه‌های دیگر بمب‌افکن و گل ثعلب شکل ۵ قرار گرفته است. در این صفحه هم ملاحظه می‌کنید که ساخت‌های همسایه شباهت بیش‌تری به هم دارند تا ساخت‌های با فاصله. بمب‌افکن یکی از مجموعه هواپیماهای مشابه است که به ترتیب آماده پروازند. چون این حشره در هر دو صفحه قرار دارد، می‌شود این‌طور فرض کرد که این دو صفحه با زاویه‌ای از همدیگر عبور می‌کنند یا می‌توان گفت صفحه شکل ۷ حول نقطه حشره نسبت به شکل ۶ دوران کرده است.

---

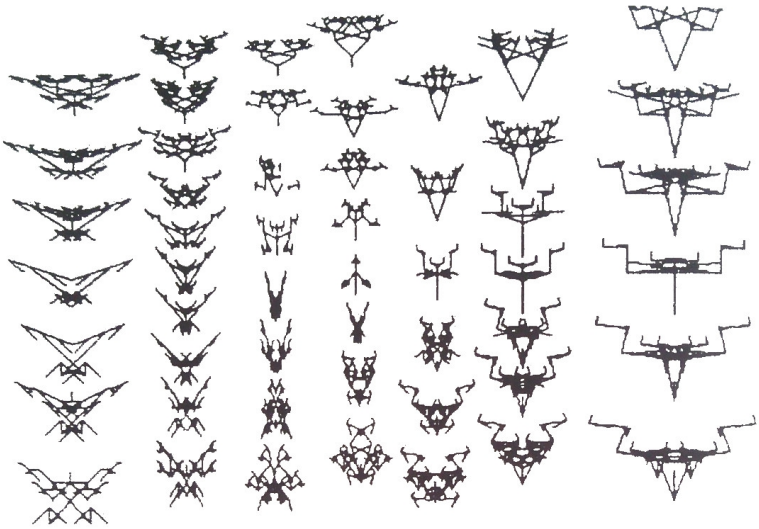
۱ weighted average



شکل ۷

در کار ما، حذف مثلث نوعی پیشرفت محسوب می‌شود، زیرا وجود مثلث باعث می‌شود به سه نقطه خاص اهمیت بی‌مورد داده شود و حواس ما را پرت می‌کند. یک پیشرفت دیگر هم داریم. در شکل ۶ و ۷ فاصله فضایی نشان دهنده فاصله ژنی است ولی میزان سنجش به هم خورده است. همواره یک سانتی‌متر در جهت عمودی معادل یک سانتی‌متر افقی نیست. برای رفع این مشکل، باید سه نقطه لنگر بیومورف را خیلی با دقت انتخاب کنیم به‌طوری‌که فاصله‌های ژنی آن‌ها از یکدیگر یکسان باشد. شکل ۸ این را نشان می‌دهد. این‌جا هم در عمل مثلث رسم نشده است. سه گوشه لنگر شامل کژدم شکل ۵، دوباره آن حشره (یک «چرخش» دیگر حول حشره صورت گرفته است)، و یک بیومورف بی‌نام در بالاست. این سه بیومورف هر کدام ۳۰ جهش با یکدیگر فاصله دارند. یعنی تبدیل شدن هر یک از آن‌ها به دیگری از مراحل همانندی می‌گذرد. در مورد این سه موجود، ۳۰ گام ژنی باید طی شود. برآمدگی‌های کوچکی که در خط پایین تصویر ۸ دیده می‌شود، هرکدام معرف یک گام فاصله ژنی است. می‌شود آن را یک خطکش محاسبه ژنی در نظر

گرفت. جهت کار این خطکش فقط افقی نیست، می‌شود آن را در هر جهتی چرخاند و فاصله ژنی را اندازه گرفت و با استفاده از آن حداقل زمان لازم برای تکامل بین دو نقطه مورد نظر روی صفحه را اندازه گرفت. (متأسفانه، روی صفحه نمی‌شود این کار را به‌طور دقیق انجام داد چون چاپگر کامپیوتر نسبت‌ها را به هم می‌ریزد، گرچه تأثیر زیادی ندارد ولی باید بدانید جوابی که فقط با شمرندن تعداد آن برجستگی‌ها پیدا می‌کنید کمی نادرست است).



شکل ۸

وقتی این صفحه‌های دو بُعدی از فضای نُه بُعدی ژنی عبور می‌کنند، مثل این است که در سرزمین بیومورف‌ها قدم زده باشید. برای واضح‌تر کردن این احساس، یادتان باشد که تکامل محدود به یک صفحه‌ی مسطح نیست. در یک گردش واقعی در دنیای تکامل هر لحظه ممکن است به صفحه دیگری بر بخورید، مثلاً از صفحه شکل ۶ به صفحه شکل ۷ برسید. (نواحی مجاور حشره، آن‌جا که دو صفحه کاملاً به هم نزدیک می‌شوند).

قبلاً گفتم خطکش ژنی شکل ۸ می‌تواند حداقل زمان لازم برای پیمودن مسیر تکامل از یک نقطه به نقطه دیگر را محاسبه کند و این کار را انجام می‌دهد ولی باید به واژه حداقل توجه خاص داشت. چون حشره و کژدم ۳۰ واحد ژنی با هم فاصله دارند، ۳۰ نسل طول می‌کشد تا یکی از آن‌ها به صورت آن دیگری تحول یابد، البته اگر در این بین گردش به عقب صورت نگیرد، زیرا در این حالت برای شما معلوم است که کدام انگاره‌بندی را به عنوان هدف در نظر بگیرید و چطور فرمان تکامل را در همان جهت هدایت کنید. در تکامل حیات واقعی چیزی که معادل تنظیم فرمان به سوی هدف ژنی دوری باشد وجود ندارد.

اکنون با استفاده از بیومورف‌ها به موضوع میمون تایپیست، یعنی به اهمیت تحول گام‌به‌گام و تدریجی در مقابل شانس محض برگردیم. با نقطه‌های پایین شکل ۸ شروع می‌کنیم ولی این بار واحد را تغییر می‌دهیم. به جای این‌که فاصله‌ها را «تعداد ژن‌های متغییر در سیر تکامل» در نظر بگیریم، آن‌ها را موارد عدم احتمال طی فاصله با شانس محض فقط در یک پرش محسوب می‌کنیم. برای این کار، لازم است یکی از محدودیت‌های این بازی کامپیوتری را حذف کنیم، در آخر خواهیم دید که اصلاً چرا چنین محدودیتی وجود داشت. محدودیت این بود که بچه‌ها فقط باید یک جهش از مادر فاصله داشته باشند. به عبارت دیگر، هر بار فقط یک ژن می‌تواند جهش کند و ارزش آن باید به اندازه ۱+ یا ۱- تغییر کند. با حذف این محدودیت، حالا هر تعداد ژن می‌تواند همزمان تغییر کند و ممکن است به هر اندازه مثبت یا منفی در ارزش آن تغییر ایجاد شود. در عمل این یک تغییر بسیار بزرگ است، چون به این ترتیب ارزش ژن‌ها می‌تواند بین اضافه و منهای بی‌نهایت کم و زیاد شود. در حالی که اگر امکان تغییر ارزش ژن‌ها را به ۱+ و یا ۱- محدود کنیم، گستره تغییر آن‌ها بین ۹+ یا ۹- است.

بنابراین، در این محدوده وسیع از نظر تئوری به هر نسل اجازه داده می‌شود که یکبار ۹ ژن خود را هر طور که می‌خواهد تغییر دهد. به علاوه، ارزش ژن می‌تواند تا

هر مقدار تغییر کند. البته تا جایی که شکل دوتایی نسازد. این به چه معنی است؟ یعنی از نظر تئوری، در سرزمین بیومورف‌ها در تکامل می‌تواند تنها در یک نسل از هر نقطه‌ای در سرزمین بیومورف‌ها به نقطه دیگر جهش کند. نه‌تنها به هر نقطه در روی یک صفحه بلکه در هر کجای این فضای ۹ بُعدی. اگر شما بخواهید با یک جهش در شکل ۵ از حشره به روباه برسید، دستورالعمل مربوطه وجود دارد. اعداد زیر را به ترتیب به‌ارزش ژن‌های ۱ تا ۹ بیافزایید: ۲-، ۲، ۲، ۲-، ۲، ۰، ۴-، ۱-، ۱. ولی چون صحبت از جهش‌های تصادفی است، هر نقطه‌ای از سرزمین بیومورف‌ها با احتمال برابر می‌تواند مقصد این جهش باشد. بنابراین، می‌شود به راحتی جهش‌های شانسی را که به مقصد «مثلاً روباه» نخواهند رسید محاسبه نمود. تعداد این جهش‌های بی‌نتیجه برابر است با تعداد کل بیومورف‌های این فضا. می‌بینید که داریم وارد یکی دیگر از آن محاسبات نجومی می‌شویم. ۹ ژن داریم و هر کدام می‌توانند هر یک از آن ۱۹ ارزش را داشته باشد. بنابراین، تعداد موجوداتی که با یک جهش می‌توانیم به آن‌ها برسیم برابر است با ۱۹ به توان ۹، چیزی حدود نیم تریلیون بیومورف. در مقایسه با عدد هموگلوبین *آسیموف* عدد ناقابلی است ولی خیلی هم کوچک نیست. اگر از حشره شروع کرده و مثل کک نیم تریلیون بار بپریم، یک احتمال وجود دارد که به مقصدمان که روباه است برسیم.

خوب، این بحث به ما چه می‌گوید؟ چه ربطی به تکامل دارد؟ یک بار دیگر اهمیت تغییر گام‌به‌گام و تدریجی را نشان می‌دهد. بعضی از تکامل‌گرایان لزومی برای این تدریج‌گرایی نمی‌بینند. محاسبات ما در مورد بیومورف‌ها دقیقاً نیاز به تدریجی بودن تکامل و اهمیت آن را نشان می‌دهد. مقصودم را بهتر شرح می‌دهم. وقتی می‌گویم در تکامل نمی‌توانید از حشره مستقیماً به روباه یا کژدم بپرید منظورم چیست؟ اگر حقیقتاً پرش‌های تصادفی صورت می‌گرفت، پریدن از حشره به کژدم کاملاً ممکن بود. یعنی درواقع همان‌قدر محتمل بود که پرش حشره به یکی از همسایگان بلافصلش ممکن است. ولی این احتمال به اندازه پریدن به هر موجود

دیگر این سرزمین است. مسئله به این سادگی‌ها هم نیست. چون تعداد موجودات این سرزمین حدود نیم تریلیون است و احتمال برابر برای رسیدن به هر یک از آن‌ها وجود دارد، احتمال رسیدن به یک موجود خاص آن‌قدر کم است که تقریباً صفر است.

فکر نکنید یک انتخاب درست و حسابیِ غیرتصادفی بتواند کاری از پیش ببرد. اگر به شما قول بدهند با رسیدن از حشره به کژدم به یک ثروت افسانه‌ای دست می‌یابید باز هم احتمال رسیدن به آن یک در نیم تریلیون است. اما اگر به جای پرش، گام بزنید، هر بار یک قدم و به ازای هر قدم که در جهت صحیح برمی‌دارید یک سکه پاداش بگیرید. در زمان کوتاهی به کژدم می‌رسید. لازم نیست که این مسیر در سریع‌ترین زمان ممکن یعنی ۳۰ نسل باشد، ولی در هر صورت سریع است. «به لحاظ تئوریک» پریدن با یک حرکت زودتر شما را به جایزه می‌رساند ولی به خاطر کم بودن احتمال موفقیت در آن، گام‌های تدریجی کوچک که یکی بعد از دیگری و قدم‌به‌قدم برداشته شوند، تنها راه عملی است.

در پاراگرف قبل احتمال سوءتعبیری وجود دارد که باید آن را توضیح دهم. باز این‌طور به نظر می‌رسد که در تکامل برای رسیدن به چیزی مثل کژدم، هدف از قبل در نظر گرفته می‌شود. ولی دیدیم که این‌طور نیست. اگر منظور ما از هدف هر چیز که شانس بقا را افزایش دهد باشد، این استدلال صحیح است. اگر موجودی قرار است نقش مادر را داشته باشد باید آن‌قدر سازگار باشد که حداقل تا زمان بالغ شدن زنده بماند. ممکن است یک فرزندِ جهش‌یافته‌ی آن مادر، شانس بیش‌تری برای بقا داشته باشد. اما اگر آن فرزند جهش بزرگی کرده باشد یعنی تفاوت فاصله ژنی زیادی با مادرش داشته باشد، احتمال این‌که بهتر از مادرش باشد چقدر است؟ پاسخ این است که این احتمال بسیار ضعیف است. علت آن را ما در نمونه‌ی بیومورف‌مان دیده‌ایم. اگر گام جهشی بسیار بلند باشد، تعداد مقصدهای ممکنی که احتمال دارد در آن فرود بیاید به‌طور نجومی زیاد است. زیرا، همان‌طور که در فصل اول دیدیم، تعداد

راه‌های مُردن خیلی بیش‌تر از راه‌های ممکن برای زنده بودن است. در فضای ژنی احتمال این‌که یک گامِ بلندِ تصادفی به سرانجام نرسد و به نابودی منجر شود بسیار زیاد است. هر چه گام کوتاه‌تر باشد، احتمال مرگ کمتر و احتمال رسیدن به شرایط مناسب بیش‌تر است. در یکی از فصل‌های بعد نیز به این موضوع برمی‌گردیم.

حالا به جایی رسیدیم که باید از سرزمین بیومورف‌ها نتیجه اخلاقی بگیریم و امیدوارم به نظر شما خیلی انتزاعی نباشد. در یک فضای ریاضی دیگر موجوداتی هستند که نه فقط از ۹ ژن بلکه از گوشت و خون و میلیاردها سلول ساخته شده‌اند که در هر کدام ده‌ها هزار ژن وجود دارد. این فضا، فضای بیومورف‌ها نیست، فضای واقعی ژنی است. موجوداتی که تا به حال واقعاً روی کُره زمین زیسته‌اند تنها زیرموجوعه کوچکی از مجموعه بزرگی هستند که از نظر تئوری می‌توانند زندگی کنند. حیوان‌های واقعی حاصل پیمایش تعداد محدودی از مسیرهای تکاملی در فضای ژنی‌اند. اکثر مسیرهای فرضی تکامل منجر به پیدایش هیولاهای ناممکنی می‌شود. حیوان‌های واقعی نقطه‌های پراکنده‌ای در گوشه و کنار این فضا هستند که در میان آن جانوران عجیب فرضی، در دنیای بیکران ژن‌ها هر یک در جایگاه منحصر به فرد خود قرار گرفته‌اند. دور و بر هر حیوان واقعی را مجموعه کوچکی از همسایگانی فراگرفته‌اند که بیش‌ترشان هرگز وجود نداشته و عده محدودی از آن‌ها اجداد، فرزندان و خاله‌زاده‌هایش هستند.

جایی در این فضای بزرگ ریاضی به انسان‌ها، کفتارها، آمیب‌ها، مورچه‌خوارها، کرم‌های پهن، سرپایان، دودوها و دایناسورها تعلق دارد. بر اساس اصول نظری، اگر ما در مهندسی ژنتیک تبحر کافی داشتیم، می‌توانستیم از هر نقطه در فضای موجودات زنده به نقطه دیگر بپریم. از هر نقطه شروع می‌توانستیم طوری از میان پیچ و خم‌های مسیر حرکت کنیم که دوباره دودوها تایرانوسورها[۱] و تری‌لوبیت‌ها[۲] را

۱ Tyrannosaur

۲ Trilobite

ایجاد کنیم. فقط باید بدانیم کدام ژن‌ها را به هم وصله پینه کنیم. کدام بخش از کروموزوم‌ها را تکرار، جابه‌جا یا حذف کنیم. نمی‌دانم آیا روزی به آن‌جا خواهیم رسید که بتوانیم این کارها را انجام دهیم، در هر صورت این موجوداتِ عزیزِ بی‌جان تا ابد در آن‌جا در آن فضای ژنی بی‌انتها در خلوت خود در انتظار فرصتی هستند که پیدا شوند، البته این در صورتی ممکن است که ما دانش پیمودن مسیر صحیح را در این دنیای مه گرفته داشته باشیم. ممکن است حتی بتوانیم موجود زنده‌ای را که قبلاً وجود دارد، بازسازی کنیم. مثلاً با انتخاب مصنوعی نژاد کبوتر دودو را بار دیگر بسازیم، گرچه برای اتمام چنین آزمایشی لازم است میلیون‌ها سال عمر کنیم. اما اکنون که پیمایش این دنیای واقعی ممکن نیست، دنیای تصورات جانشین بدی نیست. برای کسانی که مثل من، اهل ریاضی نیستند، کامپیوتر رفیق شفیقی در دنیای تصورات است. مثل ریاضی نیست که فقط دامنه تصورات را گسترش دهد، آن را جمع و جور می‌کند و سر و سامان می‌دهد.

فصل ٤

ردیابی فواصل حیوانی

چنان‌که در فصل دوم دیدیم، برای بسیاری از مردم مشکل است بپذیرند که چیزی مانند چشم، مثال محبوب «پالی»، با طرحی این‌چنین پیچیده و دقیق و اجزای مختلفی که هماهنگ با یکدیگر کار می‌کنند، از یک نقطه شروع اولیه با تغییرات تدریجی گام‌به‌گام پیدا شده باشد. در پرتو آن‌چه اخیراً از بیومورف آموخته‌ایم، به این مسئله نگاه می‌کنیم. پاسخ شما به دو سؤال زیر چیست؟

۱- آیا ممکن است چشم انسان مستقیماً از هیچ به وجود آمده باشد؟

۲- آیا ممکن است چشم انسان مستقیماً از چیز کمی متفاوت با خودش، که ما آن را X می‌نامیم، پیدا شده باشد؟

پاسخ سؤال اول قطعاً منفی است. اگر کسی به این سؤال پاسخ مثبت دهد، می‌شود بیش از میلیون برابر اتم‌های موجود در جهان برای رد آن دلیل آورد. برای ایجاد چشم از هیچ، یک پرش غول‌آسا و نامحتمل در سرزمین ژن‌ها لازم است.

پاسخ سؤال دوم نیز به همان اندازه مثبت است. البته در صورتی که تفاوت بین چشم فعلی و آن‌چه بلافاصله قبل از این صورت وجود داشته به اندازه کافی کم باشد. به عبارت دیگر اگر آن‌ها در همه جنبه‌های ممکن ساختارشان به اندازه کافی به

یکدیگر شبیه باشند. اگر پاسخ سؤال دوم برای میزان خاصی از تفاوت منفی باشد. تنها کاری که می‌توان کرد این است که سؤال را برای تفاوتی کمتر از آن مطرح کنیم و این کار را آن‌قدر ادامه دهیم تا تفاوت بین چشم فعلی و X به اندازه‌ای کم شود که جواب سؤال مثبت گردد.

X را این‌طور تعریف می‌کنیم: چیزی خیلی شبیه به چشم انسان، آن‌قدر شبیه که فقط با یک تغییر در آن چشم انسان ساخته شده است. اگر از آن X که شما در ذهن خود تصور کرده‌اید، به وجود آمدن چشم انسان قابل توجیه نیست، باید گفت که شما X را درست در نظر نگرفته‌اید. کم‌کم X مورد نظرتان را به چشم انسان شبیه‌تر کنید. تا جایی که احساس کنید به وجود آمدن چشم انسان از این X قابل توجیه است و چشم می‌تواند جانشین بلافاصله مناسبی برای آن باشد. حتی اگر تصور شما از آن کم و بیش با آن‌چه در ذهن من است تفاوت داشته باشد، در هر صورت باید چنین Xی برای شما وجود داشته باشد.

خوب حالا که Xی یافته‌ایم که با آن پاسخ سؤال دوم مثبت می‌شود این سؤال را در مورد خود X دوباره مطرح می‌کنیم. به همان دلیل قبل نتیجه می‌گیریم که مستقیماً و فقط با یک تغییر در چیزی که با خودش اندکی تفاوت داشته و ما آن را X` می‌نامیم پیدا شده است. خوب معلوم است که می‌توانیم دوباره رد X` را در چیز کمی متفاوت و قبل از خودش یعنی X`` بیابیم و همین‌طور تا آخر ادامه دهیم. با به میان آوردن یک سری ایکس‌های پشت سر هم می‌توان نتیجه گرفت چشم انسان از چیزی پیدا شده که تفاوت زیادی با آن‌چه حالا هست داشته است. ما باید مسیری طولانی را در «فضای حیوانی» طی کنیم و در صورتی این حرکت قابل توجیه است که گام‌های‌مان به اندازه کافی کوچک باشند. حالا می‌توانیم به سؤال سوم پاسخ دهیم.

۳- آیا یک سری X پشت سر هم وجود دارد که چشم فعلی انسان را به وضعیت بی‌چشمی ربط می‌دهد؟

از نظر من آشکارا پاسخ مثبت است فقط شرطش این است که تعداد آن Xهای متوالی به اندازه کافی زیاد باشد. شاید به نظر شما ۱۰۰۰ تا X زیاد باشد ولی برای این‌که در ذهن قابل توجیه باشد باید بیش‌ترش کنید، مثلاً ۱۰۰۰۰ تا در نظر بگیرید. اگر فکر می‌کنید ۱۰۰۰۰ تا کافی نیست ۱۰۰۰۰۰ تا بکنیدش یا بیش‌تر. چون در هر نسل فقط یک X می‌تواند وجود داشته باشد، هرچه آن‌ها را بیش‌تر در نظر بگیرید سقف این بازی بالاتر می‌رود. درواقع مسئله به این شکل تغییر می‌کند. آیا وقت کافی برای نسل‌های متوالی قائل شده‌ایم؟ نمی‌شود برای تعداد نسل‌های لازم جواب دقیقی داشت ولی می‌دانیم که زمان زمین‌شناختی به‌طور سرسام‌آور طولانی است. فقط برای این‌که تصوری از عمق و عظمت موضوع مورد بحث داشته باشید می‌گویم تعداد نسل‌هایی که ما را از اجداد اولیه‌مان جدا می‌کنند یقیناً در مقیاس هزاران میلیون است. فرض کنیم یک هزار میلیون، باید رشته‌ای از تغییرات جزئی را تصور کنیم که یک سر آن چشم انسان و سر دیگرش چیزی جز هیچ نیست.

تاکنون، با یک فرایند استدلال که کمابیش انتزاعی بود به این نتیجه رسیدیم که یک رشته X را می‌توان مجسم کرد که هر یک از اعضای آن به همسایه‌اش آن‌قدر شبیه است که تبدیل آن‌ها به یکدیگر قابل توجیه جلوه می‌کند، و این رشته چشم انسان را به مرحله بی‌چشمی ربط می‌دهد. اما هنوز نشان نداده‌ایم که وجود این رشته عملاً قابل توجیه است پس باید به دو سؤال دیگر هم پاسخ دهیم.

۴- با در نظر گرفتن این‌که هر عضوِ رشته فرضی Xها چشم انسان را به بی‌چشمی ربط می‌دهد، آیا پیدا شدن هر X از X قبلی بر اساس جهش تصادفی قابل توجیه است؟

درواقع این سؤال به جنین‌شناسی مربوط می‌شود نه به ژنتیک و کاملاً جدا از آن چیزی است که ذهن «اسقف بیرمنگام» و عده دیگری را به خود مشغول کرده بود. جهش به صورت تغییر در فرایند معمول رشد جنین تحقق می‌یابد. می‌توان نشان داد

که بعضی از انواع فرآیندهای رشد تمایل به تغییر در جهت خاصی دارند و گرایشی به جهات دیگر نشان نمی‌دهند. در فصل یازدهم دوباره به این دو موضوع باز می‌گردیم. من باز در این‌جا روی تفاوت تغییر کوچک و تغییر بزرگ تأکید می‌کنم. هر چه تغییر را کوچک‌تر در نظر بگیریم، از نظر منطقی تفاوت بین `X و ``X کمتر و از نظر جنین‌شناسی احتمال جهش در آن پذیرفتنی‌تر است. در فصل قبل، بر مبنای آمار محض دیدیم که احتمال جهش بزرگ در کل کمتر از احتمال جهش کوچک است. بنابراین، لااقل در مورد سؤال چهارم، می‌بینیم هر چه تفاوت بین `X و ``X را کوچک‌تر فرض کنیم، مسئله کوچک‌تر می‌شود. من احساس می‌کنم در صورتی که تفاوت بین عضوهای متوالی این رشته، یعنی رشته‌ای که منجر به پیدایش چشم شده، به اندازه کافی کوچک باشد، وقوع جهش‌های لازم پیامد طبیعی آن است. مگر غیر از این است که ما همیشه از تغییرات کمّی کوچک در فرایند معمولی رشد جنین صحبت می‌کنیم. یادتان باشد هر قدر هم وضعیت جنین‌شناختی موجود در هر نسل پیچیده باشد، تغییر جهشی آن ساده و کوچک است.

اکنون باید به سؤال آخر پاسخ دهیم.

۵- با در نظر گرفتن تک‌تک اعضای رشته X که چشم انسان را به بی‌چشمی ربط می‌دهند، آیا می‌توان گفت که هر یک از آن‌ها کارایی کافی برای کمک به بقا و تولید مثل جانوران مربوطه را داشته است؟

عجیب است که بعضی‌ها جواب این سؤال را یک «نه» بدیهی می‌دانند. مثلاً من قسمتی از کتاب *گردن زرافه جایی که داروین به اشتباه رفت*، *فرانسیس هایچینگ*[۱] (۱۹۸۲) را نقل می‌کنم.

می‌توانستم همین موضوع را تقریباً از هر یک از رساله‌های گروه مذهبی نقل کنم ولی این کتاب را انتخاب کردم چون علی‌رغم اشتباهات زیادی که در آن وجود دارد

---

۱ Francis Hitching

که اگر از یک فارغ‌التحصیل یا حتی دانشجوی رشته زیست‌شناسی می‌خواستند نگاهی به آن بکند آن‌ها را پیدا می‌کرد، ناشر معروفی آن را چاپ کرده است. (اگر اجازه گفتن دو لطیفه ضمن متن را به من بدهید، دوست دارم به قهرمان بازی پروفسور *جان مینارد اسمیت*[۱] و به توصیف پروفسور *ارنست مایر*[۲] به عنوان «عالی‌ترین مقام روحانی» در ریاضیات ژنتیک، که غیرریاضی‌ترین سخنور پرحرارت ژنتیک ریاضیات است استناد کنم.)

برای این‌که چشم وظیفه‌اش را انجام دهد، باید اعضای زیر به‌طور هماهنگ با یکدیگر تنظیم شوند و کار کنند (در کار چشم اتفاقات دیگری هم رخ می‌دهد اما تنها یک توصیف ساده برای نشان دادن اشکالات فرضیه داروین کافی است). چشم باید تمیز و مرطوب باشد. این وضعیت با تعامل غده اشکی و حرکت پلک‌ها حاصل می‌شود. مژه‌های پلک هم نقش یک صافی را در مقابل خورشید دارند. نور پس از عبور از میان بخش کوچک شفافی که درواقع پوشش بیرونی چشم یا همان قرنیه است، از طریق یک عدسی پرده‌ای، به نام شبکیه، در عقب چشم متمرکز می‌شود. در شبکیه ۱۳۰ میلیون میله و مخروط حساس به نور با واکنش‌های «نوری شیمیایی» نور را به پیام الکتریکی تبدیل می‌کنند. در هر ثانیه چند هزار میلیون از این پیام‌ها، به طریقی که نمی‌دانیم چگونه است، به مغز منتقل می‌شوند تا در آن‌جا عملیات لازم صورت گیرند. آشکار است که اگر در این مسیر کوچک‌ترین اشکالی پیش بیاید، مثلاً اگر قرنیه کدر باشد یا مردمک نتواند گشاد شود یا عدسی به اندازه کافی شفاف نباشد یا نورها متمرکز نشوند، تصویر قابل تشخیصی تشکیل نمی‌شود. چشم به صورت یک کل یا کار می‌کند یا کار نمی‌کند. خوب حالا چطور ممکن است چنین چیزی حاصل تغییرات کوچک و کُند و یکنواخت داروینی باشد؟ آیا واقعاً پذیرفتنی است که در قرنیه و شبکیه که بدون هم کارایی ندارند، هزاران جهش به‌طور تصادفی همزمان رخ دهد که این دو با هم تکامل یابند؟ چشمی که نمی‌بیند چه ارزشی برای

---

۱ John Maynard Smith

۲ Ernst Mayr

بقا می‌تواند داشته باشد؟

اغلب از این استدلال استفاده می‌شود، شاید چون مردم تمایل دارند که نتیجه‌اش را باور کنند. به عبارت‌های زیر توجه کنید، «اگر کوچک‌ترین اشکالی پیش بیاید»، «اگر نورها متمرکز نشوند»، تصویر قابل تشخیصی تشکیل نمی‌شود. به احتمال ۵۰ درصد شما دارید این نوشته را با عینک می‌خوانید، عینک‌تان را بردارید و نگاهی به دور و بر بیاندازید. موافقید که تصویر قابل تشیخصی تشکیل نمی‌شود؟ اگر مذکر باشید به احتمال یک بر دوازده ممکن است نسبت به رنگ کور باشید. ممکن است چشم‌تان آستیگمات باشد. احتمالاً بدون عینک دیدتان خیلی واضح نیست. یکی از برجسته‌ترین (هنوز قهرمان نشده) نظریه پردازهای تکامل آن‌قدر دیربه‌دیر عینکش را پاک می‌کند که همیشه دیدش تا حدی تار است ولی اوضاعش خوب پیش می‌رود و بنا به گفته خودش قبلاً اسکواش هم بازی می‌کرده. اگر عینک‌تان را گم کنید، ممکن است دوستان را در خیابان نشناسید و باعث دلخوری آن‌ها بشوید. ولی اگر کسی به شما بگوید «چون دیدت کافی نیست، بهتر است چشم‌هایت را ببندی تا عینکت پیدا شود» بیش‌تر دلخور می‌شوید. این همان چیزی است که نویسنده قطعه‌ای که در بالا نقل کردم می‌خواهد بگوید.

او طوری می‌گوید عدسی و شبکیه بدون هم نمی‌توانند کار کنند «که انگار واقعیت محض را بیان می‌کند.» این حرف چه اعتباری دارد؟ یکی از نزدیکان من هر دو چشمش را عمل آب مروارید کرده است. اصلاً عدسی ندارد. بدون عینک نه تنیس می‌تواند بازی کند نه با تفنگ نشانه بگیرد. اما خودش می‌گوید داشتن چشم بدون عدسی خیلی بهتر از بی‌چشمی است. لااقل می‌شود تشخیص داد که دارید می‌روید توی دیوار یا به کسی برمی‌خورید. اگر شما موجودی غیرانسان بودید، حتماً از همان چشم بدون عدسی برای دیدن هیکل تقریبی شکارچی‌تان از دور و تشخیص جهت حرکت او استفاده می‌کردید. در جهان ابتدایی، آن‌جا که بعضی جانداران اصلاً

چشم ندارند و بعضی فقط چشم بدون عدسی دارند، داشتن چشم بدون عدسی کلی امتیاز محسوب می‌شود. و یک سری Xهای پیوسته وجود دارند به‌طوری‌که با هر گام کوچک در روشن‌تر کردن تصویر، از مبهم کامل تا بینایی کامل انسان، امکان بقای جاندار را بیش‌تر می‌کند.

در ادامه آن کتاب به نقل از استفن جی‌*گولد*[1] دیرین‌شناس معروف هاروارد چنین آمده است:

> ما از سؤال جالبی مثل پنج درصد چشم به چه دردی می‌خورد؟ با این استدلال که صاحب چنین ساختاری از آن استفاده نمی‌کند، بی‌توجه رد می‌شویم.

یک جانور قدیمی با ۵ درصد چشم، ممکن است از آن برای موردی غیر از دیدن استفاده کند. اما به نظر من ۵ درصد احتمال دارد که از آن برای بینایی استفاده کند. اصلاً به نظر من سؤال بالا سؤال خیلی جالبی نیست. قدرت دیدی که به اندازه ۵ درصد دید من یا شما باشد بهتر از نابینایی مطلق است. یک درصد بینایی هم از هیچ بهتر است. ۶ درصد از ۵ درصد بهتر، ۷ درصد از ۶ درصد بهتر است و همین‌طور تا آخرِ این جریانِ گام‌به‌گام.

این نوع مسائل باعث نگرانی آن‌هایی می‌شود که به حیواناتی علاقه دارند که خود را با تقلید و هماهنگ شدن با محیط از شکارچی‌شان پنهان می‌کنند. حشره‌های چوب شبیه چوب‌اند و به این ترتیب طعمه پرندگان نمی‌شوند. حشره‌های برگ‌مانند، عیناً مانند برگ‌اند. بسیاری از انواع پروانه‌های خوراکی با شبیه کردن خود به پروانه‌های مضر یا سمی جان خود را حفظ می‌کنند. این شباهت‌ها خیلی از شباهت ابر به راسو شگفت‌آورتر است. در بسیاری موارد این‌ها خیلی جالب‌تر از شباهت حشره‌های من به حشره‌های واقعی‌اند. چون حشره‌های واقعی ۶ پا دارند نه ۸ تا! انتخاب طبیعی واقعی حداقل یک میلیون برابر حشره‌های من نسل و بنابراین

[1] Stephen Jay Gould

فرصت بیش‌تری برای کامل کردن شباهت‌ها داشته است.

ما در این موارد از واژه «تقلید» استفاده می‌کنیم ولی منظور این نیست که این حیوانات آگاهانه چیزهایی را تقلید می‌کنند. درواقع انتخاب طبیعی آن‌هایی را که بدن‌شان با چیز دیگری اشتباه گرفته می‌شود، ترجیح می‌دهد. به صورت دیگر می‌توان گفت از اجداد حشره‌ی چوب آن‌ها که شبیه چوب نشدند از بین رفتند. استاد آلمانی-آمریکایی ژنتیک *ریچارد گلداشمیت*[1] از برجسته‌ترین کسانی است که معتقدند انتخاب طبیعی نمی‌توانسته در مورد پیدایشِ اولیه‌ی چنین شباهت‌هایی نقش داشته باشد. *گولد*، یکی از تحسین کنندگان *گلداشمیت*، درباره حشره‌هایی که از پهن تقلید می‌کنند می‌گوید: آیا می‌شود هیچ کیفیت باارزشی برای ۵ درصد شباهت داشتن به مدفوع تصور کرد؟ این اواخر خیلی‌ها، تا حدی تحت تأثیر *گولد*، می‌گویند *گلداشمیت* واقعاً از زندگی‌اش مایه گذاشت و چیزهای زیادی به ما آموخت. این یک نمونه از استدلال‌های اوست:

> *فورد* از جهش‌هایی صحبت می‌کند که به‌طور اتفاقی باعث ایجاد شباهت‌های دوری به یک گونه‌ی بیش‌تر حفاظت شده می‌شوند که از آن شباهت امتیازی، هر چند کوچک ممکن است حاصل شود. باید پرسید فاصله شباهت باید چه اندازه باشد که ارزش انتخاب شدن را داشته باشد؟ آیا واقعاً می‌توانیم فرض کنیم که پرندگان و میمون‌ها و همچنین mantidها (یا لااقل بعضی از باهوش‌های آن‌ها) چنان ناظران باهوشی باشند که این شباهت «دور» را درک کرده و به این ترتیب رانده و دور شوند؟ به نظر من این یک توقع زیادی است.

این حرف‌های کنایه‌آمیز شایسته همان‌هایی است که مانند خود *گلداشمیت*، در یک مسیر متزلزل گام می‌زنند. ناظران باهوش؟ بعضی از باهوش‌های آن‌ها؟ مگر کسی فکر می‌کند پرنده‌ها و میمون‌ها با خوردن گول این شباهت‌ها، سودی عایدشان

---

[1] Richard Goldschmidt

می‌شود! شاید بهتر بود *گلداشمیت* می‌گفت: آیا می‌توانیم تصور کنیم که پرنده‌ها و غیره (یا بعضی از کم هوش‌های آن‌ها) چنان ناظران کم مایه‌ای باشند؟ در هر صورت، در این‌جا یک دوگانگی واقعی وجود دارد. احتمالاً شباهت اولیه حشره‌ی چوب به چوب بسیار کم بوده است. حتماً دید پرنده‌ای که می‌خواسته آن حشره را بخورد باید خیلی ضعیف می‌بود تا گول می‌خورد. اما شباهت حشره چوب امروزی به چوب بسیار زیاد است. آن‌قدر که حتی نشانه کوچک‌ترین شیار برگ یا جای جوانه هم روی آن هست. پرنده‌های شکارچی که درواقع آخرین اصلاحات تکاملی را انجام می‌دهند، باید لااقل در کل دید خوبی داشته باشند و نباید به راحتی فریب بخورند، زیرا در غیر این صورت آن حشرات این‌قدر شبیه به چوب نمی‌شدند و به صورت نیمه شبیه باقی می‌ماندند. حالا چگونه این تضادهای آشکار را حل کنیم؟

یک جواب می‌تواند این باشد که پیشرفت بینایی پرنده غالب با تغییرات حشره برای استتار خود همزمان بوده است. اگر بی‌ادبی نباشد، شاید حشره‌ای که فقط پنج درصد به مدفوع شباهت داشت می‌توانست پرنده‌ای را که فقط پنج درصد بینایی داشت فریب دهد. اما جواب من از این دست نیست. من درواقع معتقدم کل این فرایند تکامل، از شباهت دور تا تقلید کامل در زمانی که وضعیت بینایی پرنده به خوبی وضع امروزی‌اش بوده، به کرات، در گروه‌های مختلف حشرات با سرعت نسبتاً زیاد صورت گرفته است.

پاسخ دیگری که برای این معما مطرح شده چنین است. شاید هر نوعی از پرنده یا میمون با دید ضعیفی که دارد فقط به یک جنبه‌ی خاص از آن حشره توجه می‌کند. شاید یک شکارچی فقط به رنگ توجه کند، یکی دیگر به شکل و آن دیگری به بافت. بنابراین حشره‌ای که شبیه چوب می‌شود، هر شکارچی خود را تنها از یک جنبه می‌تواند به اشتباه بیاندازد در حالی که همچنان طعمه شکارچی‌های دیگر خواهد بود. به این ترتیب با پیشرفت تکامل، جنبه‌های بیش‌تری از شباهت به پرونده حشره افزوده می‌شود. در آخرین مراحل تکامل، همه آن‌چه را که جانور لازم است تقلید کند

تا شکارچیانش را بفریبد در او جمع می‌شود. این ما هستیم که همه این کمال را در تقلید آن جانور می‌بینیم نه شکارچی‌اش.

درواقع فقط می‌خواهم بگویم ما چنان «باهوشیم» که عظمت این تقلید را درک می‌کنیم. علت این امر غرور انسان نیست بلکه باید توضیح دیگری داشته باشد، دلیلش این است که هر قدر چشم یک شکارچی در بعضی شرایط خوب باشد، در همه‌ی وضعیت‌ها چنین نیست. ما از روی تجربیات‌مان، می‌دانیم دید ضعیف و دید عالی یعنی چه و همه مراحل بین این دو حالت را حس کرده‌ایم. من اگر در روز روشن به حشره چوبی که در ۲۰ سانتی‌متری است نگاه کنم، گول نمی‌خورم. پاهای درازش را که به تنه درخت چسبیده می‌بینم و از روی تقارن آن‌ها متوجه می‌شوم چون می‌دانم وجود چنین تقارنی در تنه درخت غیرمعمول است. اما اگر من با همین مغز در هوای گرگ و میش در جنگل باشم، احتمال دارد نتوانم حشره‌های تیره رنگ را از تنه درخت خوب تشخیص دهم. تصویر یک حشره ممکن است از کناره شبیکه چشم من عبور کند نه از قسمت حساس مرکزی. شاید حشره ۴ متر آن طرف‌تر باشد و فقط تصویر کوچکی از آن روی شبیکه من بیفتد. ممکن است آن‌قدر کوچک باشد که اصلاً به زحمت چیزی ببینم.

درواقع مقدار فاصله یا کم بودن شباهت حشره به چوب خیلی مهم نیست، باید در مورد پرنده، تاریک و روشنی هوا، مقدار فاصله از چشم و تا حدی پراکندگی حواس را در نظر گرفت، چون گاهی شباهتِ کم، یک چشمِ خوب را به اشتباه می‌اندازد. اگر به نظر شما این موضوع پذیرفتنی نیست، کمی نور فرضی‌تان را کمتر یا فاصله‌تان را از آن چیز فرضی بیش‌تر کنید. مسئله این است که در خیلی موارد وقتی فاصله با شکارچی زیاد یا هوا نیمه روشن یا مه‌آلود باشد، حشره می‌تواند با داشتن یک شباهت کوچک به شاخه درخت، یا برگِ پهن، جان سالم بدر برد. ممکن است در همان زمان که پرنده متوجه حشره می‌شود شنیدن صدای یک هم‌نوع ماده حواسش را کمی پرت کند و خیلی پیش آمده که حشره جان سالم به در برده چون

شکارچی با این‌که نزدیک بوده و نور کافی هم داشته ولی گول شباهت غیرمعمول او را به یک تکه چوب خورده است. مهم این است که شدت نور، فاصله حشره از شکارچی، فاصله تصویر از مرکز شبکیه و متغیرهای دیگر که همه متغیرهای پیوسته‌اند و تغییر آن‌ها قابل درجه‌بندی نیست، باعث تکامل پیوسته و تدریجی می‌شوند.

از قرارِ معلوم مسئله *گلدشمیت* – یکی از آن مجموعه سؤال‌هایی است که او را مجبور کرد در بیش‌تر عمر کاری‌اش به این باور افراطی پناه ببرد که تکامل به جای قدم‌های کوچک پرش‌های بزرگ دارد – اصلاً مسئله نیست. ما هم اتفاقاً دیدیم که پنج درصد دید از هیچ بهتر است. اگر بخواهیم به کیفیت دید توجه کنیم احتمالاً کیفیت دید من در حاشیه شبکیه کمتر از ۵ درصد کیفیت دید در قسمت مرکز آن است. با این حال من با کنار چشمم متوجه آمدن یک کامیون بزرگ یا اتوبوس می‌شوم. چون هر روز با دوچرخه سرکار می‌روم، همین جان مرا نجات می‌دهد. روزهای بارانی و در حالی که کلاه سرم هست هم آن را تشخیص می‌دهم. کیفیت دید ما در شب تاریک باید خیلی کمتر از ۵ درصد دید روز باشد. اما همان دید کم چه بسا جان اجداد ما را از چیزهای واقعیِ خطرناک مثل دندان تیز ببر یا شاید یک پرتگاه در دل شب نجات داده است.

هر کدام از ما روی تجربه‌های شخصی می‌دانیم که در شبِ تاریک پیوستاری از چیزهایی که دیده نمی‌شوند تا چیزهایی که به وضوح دیده می‌شوند وجود دارد و در هر گام از پیشرفت در این رشته نفعی نهفته است. اگر با دوربین تنظیم شده و دوربین تنظیم نشده نگاهی به جهان اطرافمان بیندازیم متوجه می‌شویم که کیفیت دید درجاتی دارد و در این طیف هر گام نسبت به مرحله قبلی یک پیشرفت محسوب می‌شود. اگر آهسته دکمه تنظیم نور یک تلویزیون رنگی را بچرخانیم، می‌بینیم در تبدیل صفحه سیاه و سفید به رنگی درجاتی از پیشرفت وجود دارد. دیافراگم عنبیه که مردمک چشم را باز و بسته می‌کند مانع ورود نور زیاد به چشم شده و در ضمن باعث می‌شود

که در نور کم بتوانیم ببینیم. همه می‌دانیم اگر این دیافراگم نباشد چه اتفاقی می‌افتد. چون می‌دانیم وقتی ناگهان نور چراغ ماشین روبرو به چشم‌مان می‌خورد چه حالی پیدا می‌کنیم. این برخورد گرچه ممکن است ناراحت‌کننده یا خطرناک باشد ولی به این معنی نیست که کل چشم را از کار می‌اندازد. بدیهی است این ادعا که چشم یا به‌طور کامل کار می‌کند، یا اصلاً کار نمی‌کند، نه‌تنها نادرست است بلکه اگر هر کس دو ثانیه در مورد تجربیات شخص خود دقت کند آن را رد خواهد کرد.

بر می‌گردیم به سؤال ۵. با در نظر گرفتن تک‌تک اعضای رشته X که چشم انسان را به بی‌چشمی ربط می‌دهند، آیا می‌توان گفت که هر یک از آن‌ها کارایی کافی را برای کمک به بقا و تولید مثل جانور مربوطه داشته است؟ دیدیم که بر اساس فرضیات نه چندان عاقلانه‌ی یک ضد تکامل پاسخ این سؤال منفی است. ولی آیا منفی است؟ خیلی مشخص نیست ولی من فکر می‌کنم که مثبت باشد. چون نه‌تنها معلوم است که یک نصفه چشم از هیچ بهتر است بلکه در بین جانوران امروزی می‌توانیم یک سری از مراحل میانی را پیدا کنیم. منظور این نیست که موجودات میانی واقعاً نماینده جانوران اجدادی‌اند ولی نشان می‌دهند که ساخت‌های میانی هم کارایی دارند.

بعضی جانوران تک‌سلولی یک نقطه حساس به نور دارند که روی آن را یک صفحه کوچک از پوست رنگدانه‌دار گرفته است. آن پوشش سلول را از تابش مستقیم نور در امان نگه می‌دارد و درواقع خبر می‌دهد جهت نور از کدام سو است. در جانوران پرسلولی مانند انواع کرم و ماهی صدف هم وضعیت مشابهی وجود دارد ولی سلول‌های حساس به نور و پوشش رنگدانه‌دار آن در یک‌کاسه کوچک قرار گرفته‌اند و به این ترتیب توانایی تشخیص جهت نور در آن‌ها کمی بیش‌تر است. چون هر سلول از نوری که مستقیماً از طرف خودش وارد کاسه می‌شود محافظت می‌گردد. در یک سریِ ادامه‌دار از سلول‌های حساس به نور که دارای سطح صاف‌اند تا کاسه کم‌عمق و کاسه گود، هر گام، هر قدر کوچک (یا بزرگ)، پیشرفتی در سیستم

بینایی محسوب می‌شود. حالا اگر آن کاسه را گودتر کرده و لبه‌هایش را برگردانیم، یک سوراخ ته سنجاقی دوربین عکاسی بدون عدسی درست می‌شود. از کاسه گود تا سوراخ ته سنجاقی دوربین سلسله‌مراتب پیوسته‌ای وجود دارد. (تصویرش را می‌توانید در هفت نسل اول مجموعه تکاملی شکل ۴ ببینید).

دوربینِ بدون عدسی تصویری به وجود می‌آورد که هر چه سوراخ دوربین کوچک‌تر باشد تصویر دقیق‌تر (اما تیره‌تر) و هر چه بزرگ‌تر باشد تصویر روشن‌تر (ولی محوتر) است. نوتیلوس[۱] جانوری نرم‌تن، شناگر که تا حدی به اسکوئید شبیه است ولی مثل آمونیت‌های منقرض شده (در شکل ۵ به سر پایان صدف‌دار نگاه کنید) در صدف زندگی می‌کند، یک جفت سوراخ ته سنجاقی دوربینی دارد. چشمش در کل مانند چشم ماست ولی عدسی ندارد و مردمکش سوراخی است که آب دریا از آن وارد حرفه تو خالی چشمش می‌شود. درواقع نوتیلوس موجودی است کمی غیرمتعارف. چون در طی صدها میلیون سال که اجدادش سوراخ ته سنجاقی را در جهت تکامل پیش برده‌اند، بالاخره نفمیده که چشم باید عدسی داشته باشد. فایده عدسی این است که تصویر را دقیق و روشن می‌کند. آن‌چه ما را در مورد نوتیلوس به فکر وا می‌دارد این است که کیفیت شبکیه‌اش حاکی از این است که داشتن یک عدسی برای او منافع آنی زیادی خواهد داشت. مثل یک سیستم تنظیم صوت مدرن است که بلندگوی بسیار عالی داشته باشد ولی سوزن گرامافونش کُند باشد. چنین سیستمی ایجاد یک تغییر ساده را می‌طلبد. در فضای خاص ژنی، نوتیلوس در یک قدمِ پیشرفتی ضروری و فوری نشسته ولی این گام ضروری را برنمی‌دارد. چرا این‌طور است؟ این موضوع فکر *مایکل‌لند* از دانشگاه ساسکس را که معتبرترین صاحب‌نظرِ ما در مورد چشم بی‌مهرگان است و همچنین ذهن مرا اشغال کرده است. یعنی طرز رشد جنین نوتیلوس نشان می‌دهد که جهش‌های لازم نمی‌توانند رخ دهند؟ پذیرفتن این موضوع برایم مشکل است ولی توضیح بهتری برایش ندارم. نوتیلوس

---

۱ Nautilis

فقط این را نشان می‌دهد که چشم بدون عدسی بهتر از بی‌چشمی است.

وقتی به جای چشم کاسه دارید، هر چیز تقریباً محدب و تقریباً شفاف یا نیمه شفاف که روی سوراخ آن قرار گیرد پیشرفتی محسوب می‌شود زیرا تا حدی ویژگی عدسی را دارد و نور را از اطراف جمع می‌کند و آن را در ناحیه کوچک‌تری در شبکیه متمرکز می‌نماید. همراه با این عدسیِ نوری یک سری از درجات پیشرفت وجود دارد که طی آن‌ها به تدریج شفافیت و ضخامت عدسی بیش‌تر و ناصافی‌اش کمتر می‌شود و سرانجام در این فرایند به جایی می‌رسد که ما همه آن را عدسی واقعی می‌دانیم. قوم و خویش‌های نوتیلوس یعنی اسکوئیدها و اختاپوس‌ها، عدسی‌هاشان واقعی و درست شبیه عدسی ماست، گرچه بی‌شک اجداد آن‌ها کل مراحل تکامل چشم را مستقل از ما پشت سرگذاشته‌اند. اتفاقاً «مایکل‌لند» معتقد است که در چشم، نُه قاعده اصلی برای تشکیل تصویر رعایت می‌شود که بیش‌ترشان چند بار به‌طور مجزا تکامل یافته‌اند. مثلاً اصل بشقاب منعکس کننده منحنی (که در تلسکوپ‌های نوری استفاده می‌شود زیرا ساختن آینه بزرگ آسان‌تر از ساختن عدسی بزرگ است) کلاً متفاوت از چشم دوربین مانند ماست و به‌طور جداگانه در نرم‌تنان و سخت‌پوستان پیدا شده است. گروهی دیگر از سخت‌پوستان مثل حشرات چشم‌های مرکب دارند (چیزی که درواقع مجموعه‌ای از چشم‌های ریز است) اما چنان‌که دیده‌ایم بعضی از نرم‌تنان مانند ما چشم‌های دوربین مانند عدسی‌دار یا سوراخ ته سنجاقی دوربینی دارند. هر یک از این صورت‌های مراحل میانی تکامل چشم، در بعضی از حیوانات امروزی به نوعی کار چشم را انجام می‌دهد.

در نوشته‌های آن‌هایی که مخالف تکامل‌اند نمونه‌هایی زیاد از نظام‌های پیچیده‌ای ارائه می‌شود که ظاهراً نباید مراحل میانی تکامل را پشت سر گذاشته باشند. این هم از موارد تأسف‌آوری از همان *برهان از روی ناباوری* خود است که در فصل دوم دیدیم. مثلاً در گردن زرافه، نویسنده بعد از بخشی که درباره‌ی چشم است بلافاصله سراغ سوسک بمباران‌کن می‌رود:

مخلوط کشنده‌ای از هیدروکینون و پروکسید هیدروژن را به طرف دشمن می‌پاشد. وقتی این دو ماده با هم ترکیب شوند یقیناً انفجار رخ می‌دهد. بنابراین سوسک بمباران‌کن برای این‌که آن‌ها را در بدنش نگه دارد، یک ماده شیمیایی محافظ به وجود می‌آورد که آن‌ها را بی‌خطر کند. در لحظه‌ای که سوسک آن ماده را از دمش بیرون می‌پاشد، ضد آن محافظ هم به آن‌ها افزوده می‌شود تا دوباره مخلوط قابل انفجار شود. سلسله حوادثی که می‌تواند به پیدایش چنین فرایند هماهنگ، دقیق و پیچیده‌ای منجر شود با آن توضیحات زیست‌شناختی که بر اساس تغییرات گام‌به‌گام است قابل توجیه نیست. کوچک‌ترین تغییر در این تعادل شیمیایی بلافاصله منجر به تولید نژادی از سوسک‌های منفجر شونده می‌شود.

یکی از همکاران زیست شیمیدان من لطف کرد و یک شیشه پروکسید هیدروژن و به اندازه کافی هیدروکینون برای ۵۰ سوسک بمباران‌کن به من داد. حالا من می‌خواهم آن دو را مخلوط کنم. بنابر آن‌چه در بالا آمده الان انفجاری رخ می‌دهد. بفرمائید.

نه، من هنوز زنده‌ام. پروکسید هیدروژن را در هیدروکینون ریختم و اصلاً هیچ اتفاقی نیفتاد. حتی گرم نشد. البته می‌دانستم که منفجر نمی‌شود وگرنه آن‌قدر هم کله خراب نیستم. جمله «وقتی این دو ماده شیمیایی با هم ترکیب شوند، یقیناً انفجار رخ می‌دهد» اشتباه محض است، با وجود این در نوشته‌های آفرینش‌باوران مدام تکرار شده است. به هر حال اگر می‌خواهید بیش‌تر درباره سوسک بمباران‌کن بدانید قضیه از این قرار است که گرچه مخلوط سوزاننده پروکسید هیدروژن و هیدروکینون را سوسک به طرف دشمن می‌پاشد اما این دو با هم ترکیب نمی‌شوند. مگر کاتالیزوری به آن‌ها اضافه شود و این همان کاری است که سوسک بمباران‌کن انجام می‌دهد. در طی مراحل تکامل این سیستم، هم پروکسید هیدروژن و هم انواع متفاوت کینون برای مقاصد دیگر در شیمی بدن به کار رفته‌اند. اجداد سوسک بمباران‌کن از این مواد شیمیایی موجود در بدن به صورت دیگری استفاده کرده‌اند. از این موارد در تکامل زیاد وجود دارد.

در همان صفحه کتاب که مطلب سوسک بمباران‌کن بالا در آن آمده، سؤال زیر مطرح شده است: «فایده یک نصفه شُش چیست؟ انتخاب طبیعی یقیناً موجودی را که چنین وضعیت عجیبی داشته باشد کنار می‌گذارد و از خیرش می‌گذرد.» در بدن یک انسان سالم بالغ هر یک از دو شُش در محل جدا شدن لوله‌ها به ۳۰۰ میلیون اتاقک کوچک تقسیم می‌شود. ساختار لوله‌ها مثل درخت بیومورف در پایین شکل ۲ در فصل قبل است. در آن درخت، ژن شماره ۹ تعداد شاخه‌های متوالی را تعیین می‌کرد، که ۸ تا بود و تعداد شاخه‌های کوچک‌تر ۲ به توان ۸ یا ۲۵۶ بود. وقتی در شکل ۲ به ترتیب پایین بروید، تعداد شاخه‌های کوچک دوبرابر می‌شود. برای این‌که ۳۰۰ میلیون شاخه کوچک داشته باشید فقط ۲۹ بار دو برابر شدن لازم است. توجه داشته باشید که پیوستار درجه‌بندی شده‌ای از یک تا ۳۰۰ میلیون اتاقک وجود دارد. هر گام در این درجه‌بندی، یک دو شاخه شدن مجدد است. این فرایند با ۲۹ بار دو برابر شدن به انجام می‌رسد که ما می‌توانیم تقریباً آن را معادل ۲۹ قدم خودمان در فضای ژنی در نظر بگیریم.

در نتیجه‌ی همه این شاخه‌شاخه شدن‌ها، سطح داخلی شُش بسیار افزایش می‌یابد. برای شش، سطح، متغیر مهمی است زیرا سطح است که در سرعت جذب اکسیژن و دفع دی‌اکسید کربن تعیین کننده است. فراموش نکنیم که سطح، متغیری پیوسته است. سطح از آن چیزهایی نیست که بشود گفت شما دارید یا ندارید. چیزی است که هر کس کمتر یا بیش‌تر دارد. سطح شُش، بیش‌تر از خیلی چیزهای دیگر، دستخوش تغییرات گام‌به‌گام تدریجی است و می‌تواند از صفر تا ۵/۸۵۲ مترمربع (یا از صفر تا ۷۰ یارد مربع) باشد.

بسیاری از بیمارانی که جراحی شده و فقط یک شُش دارند خوب راه می‌روند. بعضی حتی با داشتن ثلث یک شُش، طبیعی راه می‌روند، البته نه خیلی تند و نه راه طولانی. نکته مهم همین است. تأثیر کم شدن تدریجی سطح شُش چیزی نیست که تعیین کننده‌ای مطلق برای مرگ و زندگی باشد. درواقع تأثیرش روی طول عمر

تدریجی و پیوسته است. این‌طور نیست که زیر سقف میعنی از اندازه‌ی شُش مرگ بلافاصله سر برسد. وقتی اندازه سطح شُش از سقف معینی پایین‌تر بیاید (یا به دلایل مختلف بالاتر رود) به تدریج احتمال رخ دادن مرگ بیش‌تر می‌شود.

تقریباً می‌شود با اطمینان گفت که اولین اجداد ما که در آن‌ها شُش پیدا شده در آب می‌زیستند. با مشاهده ماهی‌های امروزی می‌توانیم تصوری از طرز تنفس آن‌ها داشته باشیم. بیش‌تر ماهی‌های امروزی با آبشُش تنفس می‌کنند اما انواعی که در آب کثیف و لجن زندگی می‌کنند، علاوه بر استفاده از آبشُش، هوای سطحی را هم به درون می‌کشند. آن‌ها از حفره داخل دهان به عنوان یک نوع شُش ابتدایی استفاده می‌کنند. و این حفره گاهی به شکل کیسه‌ی هواییِ تنفس، که رگ‌های خونی زیاد دارد بزرگ می‌شود. چنان‌که دیده‌ایم می‌شود یک رشته ایکس را در نظر گرفت که از یک کیسه هوایی شروع و به مجموعه‌ی دو شاخه‌ای شده‌ای که شامل ۳۰۰ میلیون کیسه هوایی که نمونه‌ش در بدن انسان قرار دارد، ختم می‌شود.

جالب این است که بسیاری از ماهی‌های امروزی همان یک کیسه را حفظ کرده‌اند و از آن به قصد کاملاً متفاوتی استفاده می‌کنند. گرچه آن کیسه احتمالاً در ابتدا به عنوان شُش مورد استفاده قرار می‌گرفته ولی در طی مراحل تکامل به کیسه‌ی شناوری تبدیل شده است. ماهی با این وسیله‌ی جالب تعادل خودش را در آب حفظ می‌کند. جانوری که این کیسه هوا را در بدن ندارد کمی از آب سنگین‌تر شده و بنابراین زیر آب می‌رود. به همین دلیل است که کوسه‌ها باید مدام شنا کنند تا خودشان را روی آب نگه دارند. جانورانی که در بدن کیسه‌های هوایی بزرگ دارند، مثل ما که شُش‌های بزرگ داریم، تمایل بیش‌تری به ماندن روی سطح آب دارند. جایی در میان این پیوستار جانوری است که کیسه هوایی‌اش درست اندازه‌ای است که نه فرو می‌رود و نه روی آب می‌ماند. بلکه بدون تلاش در حالت تعادل یکنواخت شناور است. این کلک ماهی‌های امروزی است، البته نه کوسه‌ها، ماهی‌ها بر خلاف کوسه‌ها برای ماندن روی آب انرژی صرف نمی‌کنند. دم و باله‌هایشان آن‌ها را به

طرف جلو هدایت می‌کنند. آن‌ها به هوای بیرون نیاز ندارند که کیسه شناوری آن‌ها را پر کند زیرا غدد خاصی دارند که هوا می‌سازد. با استفاده از این غدد و اعضای دیگر حجم هوا را به دقت در آن کیسه تنظیم می‌کنند و در آب و با فشار آب خود را در تعادل کامل قرار می‌دهند.

بعضی از گونه ماهی‌های امروزی می‌توانند آب را ترک کنند. یک نوع خیلی مشخص آن ماهی پرنده هندی است که بیش‌تر بیرون از آب به سر می‌برد. این ماهی، به‌طور مستقل، شُشی ساخته که کاملاً با آن‌چه اجداد ما داشتند فرق دارد – اتاقکی هوایی دور آبشُش به وجود آورده است. ماهی‌های دیگر کلاً در آب زندگی می‌کنند ولی گاهی سری هم به بیرون از آن می‌زنند. احتمالاً اجداد ما هم همین‌طور بوده‌اند. طول زمان سر زدن به خشکی می‌تواند بین صفر و مدتی طولانی باشد. اگر شما نوعی ماهی باشید که در آب زندگی می‌کند و در آن نفس می‌کشد ولی گاهی جرأت کرده، مثلاً برای رفتن از یک آبگیر به آبگیر دیگر، پا در خشکی می‌گذارد تا از بی‌آبی نمیرد نه فقط داشتن یک نصفه شُش، بلکه وجود یک صدم یک شُش هم اهمیت دارد. مهم نیست که شُش در ابتدا چه اندازه کوچک بوده، در هر صورت با آن شُشِ کوچک می‌شد مدت زمان بیش‌تری را خارج از آب زنده ماند که بدون آن، زمانِ زنده ماندن کوتاه‌تر می‌شد. زمان متغیر پیوسته‌ای است. بین جانوران آبزی و هوازی تقسیم‌بندی سفت و سختی وجود ندارد. حیوانات متفاوت ممکن است ۹۹ درصد یا ۹۷ درصد و همین‌طور تا صفر درصد آبزی باشند. در این پیوستار، هر گام که باعث افزایش سطح شُش شود یک امتیاز محسوب می‌گردد و در تمام این مسیر پیوستگی و گام‌به‌گام بودن وجود دارد.

فایده یک بال نصفه چیست؟ اصلاً بال از کجا پیدا شده؟ بسیاری از حیوانات روی درختان از شاخه‌ای به شاخه دیگر می‌پرند و گاهی به زمین می‌افتند. مخصوصاً در حیوانات کوچک همه سطح بدن در مقابل هوا مقاوم است و به پرش آن‌ها کمک می‌کند و مثل یک صفحه مانع سقوط آن‌ها می‌شود. در این‌جا هر چیزی که نسبت

سطح به وزن جانور را افزایش دهد، مثلاً تکه‌هایی از پوست که در زاویه بین مفاصل قرار دارند، به بهتر پریدن او کمک می‌کنند. از این ساده‌ترین حالت تا بال‌هایی که با آن سُر می‌خورند و بال‌هایی که تکان خورده و بالا و پایین می‌روند درجات مختلفی از بال وجود دارد. بدیهی است حیواناتی که آن بال‌های اولیه را داشتند نمی‌توانستند با آن پرواز کنند یا از هر فاصله‌ای بپرند ولی به همان اندازه آشکار است که آن بال‌ها هر قدر هم ابتدایی بودند، بالاخره به اجداد ما کمک می‌کردند از فاصله‌هایی ولو بسیار کوتاه، بپرند. فاصله‌هایی که پریدن از آن‌ها بدون آن بال‌ها مقدور نبود.

اگر آن بال‌مانندهای اولیه مانع افتادن حیوان می‌شدند باز نمی‌توان گفت که «اگر آن‌ها از اندازه معینی کوچک‌تر می‌بودند دیگر فایده‌ای نداشتند.» باز مهم نیست بال‌های اولیه تا چه اندازه کوچک یا بی‌شباهت به بال‌های بالا و پایین رونده امروزی بودند، در هر صورت ارتفاعی که ما آن را h می‌نامیم وجود داشته که اگر حیوان از آن سقوط می‌کرد گردنش می‌شکست و اگر از اتفاعی کمتر از آن می‌افتاد زنده می‌ماند. در این مرز حساس، هر امتیازی که بدن برای مقاومت در مقابل هوا داشته باشد، هر قدر کوچک، یک برتری محسوب شده و می‌تواند در تعیین مرگ و زندگی نقش داشته باشد. بنابراین انتخاب طبیعی آن بال‌های کوچک اولیه را ارج می‌نهد. وقتی حرکت با بال‌های کوچک اولیه عادی شد، ارتفاع حیاتی h کمی بیش‌تر می‌شود. حالا یک افزایش کوچک دیگر در اندازه بال تعیین کننده مرگ و زندگی است. و این فرایند همین‌طور پیش می‌رود تا به بال‌های درست و حسابی می‌رسد.

امروز حیواناتی وجود دارند که مراحل مختلف این پیوستار را نشان می‌دهند. بعضی قورباغه‌ها با پرده‌های بزرگی که بین انگشتان پایشان است در هوا سُر می‌خورند، بعضی مارهای درختی با بدن تخت‌شان در مقابل فشار هوا مقاومت می‌کنند؛ مارمولک‌هایی وجود دارند که با پوست‌هایی که در امتداد بدنشان آویخته است و بعضی از انواع پستانداران با رشته‌هایی که بین دست‌ها و پاهای‌شان است سُر می‌خورند و به ما نشان می‌دهند که خفاش‌ها چطور پیدا شده‌اند. برخلاف

نوشته‌های معتقدان به آفرینش، نه‌تنها جانورانی با نصفه بال وجود دارند بلکه بعضی‌ها ۱/۴ یا ۱/۳ بال دارند. هنگامی تصور پیوستار پرواز فراگیرتر می‌شود که به یاد داشته باشیم که جانوران کوچک، با هر شکلی، تمایل دارند به آرامی در هوا پرواز کنند. دلیل فراگیری پیوستار پرواز این است که این پیوستار به صورت بسیار ریزی از کوچک تا بزرگ درجه‌بندی شده است.

اندیشه‌ی انباشته شدن تغییرات بسیار کوچک، نظری است که با آن می‌توان پدیده‌های بسیاری را توضیح داد، پدیده‌هایی که در غیر این‌صورت نمی‌توان توضیحی برایشان یافت. سَم مار ابتدا از کجا پیدا شد؟ بسیاری از جانوران می‌گزند و آب دهان بعضی از آن‌ها دارای پروتئینی است که اگر وارد زخمی شود باعث واکنش حساسیت‌زا می‌گردد. گزش مارهای غیرسمی هم در بعضی مردم عواقب دردناکی دارد. پیوستاری درجه‌بندی شده از انداختن آب دهان معمولی تا سم کشنده وجود دارد.

گوش چطور به وجود آمد؟ هر قسمت پوست اگر در تماس با اشیای در حال لرزش باشد می‌تواند لرزش را بگیرد. این ادامه طبیعی حس لامسه است. انتخاب طبیعی این توانایی را به تدریج بیش‌تر کرده تا حدی که به اندازه کافی حساس است تا کوچک‌ترین لرزش‌ها را درک کند. انتخاب طبیعی با لطف به عضو خاصی که به‌طور خودکار آن‌قدر حساس است که می‌تواند لرزش‌های شدید یا دارای سرچشمه نزدیک بگیرد، گوش را ساخته است. به این ترتیب می‌توان مسیر را مجسم کرد که در آن پیشرفت‌های گام‌به‌گام رخ داده است. راه‌یابی با پژواک از کجا شروع شد؟ هر جانوری که شنوایی داشته باشد، پژواک‌ها را هم می‌شنود. افراد نابینا یاد می‌گیرند چطور از پژواک‌ها استفاده کنند. یک روش حاشیه‌ای از کاربرد چنین مهارتی در پستانداران اولیه، مواد خام کافی در اختیار انتخاب طبیعی قرار داده، تا بر مبنای آن از درجات اولیه، حدِ بالای تکامل را در خفاش‌ها بسازد.

۵ درصد بینایی بهتر از هیچ است. ۵ درصد شنوایی از نشنیدن مطلق بهتر است. ۵ درصد توانایی پرواز از هیچ بهتر است. می‌شود پذیرفت که هر عضو یا دستگاهی که در عمل می‌بینیم، حاصل یک حرکت تدریجی ملایم در دنیای جانداران است، مسیری که در آن هر مرحله میانی به بقا و تکثیر جانور کمک می‌کند. هر گاه در یک حیوان زنده واقعی یک عضو X داشته باشیم، به‌طوری‌که X چنان عضو پیچیده‌ای باشد که ممکن نباشد در یک مرحله و اتفاقی به وجود آمده باشد، بر اساس نظریه تکامل و انتخاب طبیعی می‌توان گفت کسری از آن X بهتر از نبودن آن است و وجود ۲ چندم آن X بهتر از یک چندم آن است و تمام X باید بهتر از $\frac{۹}{۱۰}$ آن باشد. این‌ها حقایق آشکار و قابل دیدن‌اند. شکی نیست که این قضیه در مورد چشم، گوش و مثال‌های دیگر از جمله گوش خفاش، بال‌ها، حشراتِ استتار کُن و تقلید کُن، آرواره مار، نیش‌ها و عادت‌های کوکو و نمونه‌های زیاد دیگری که در نوشته‌های ضدتکامل‌ها تکرار شده‌اند صادق است. البته Xهای قابل تصور زیاد وجود دارند که این عبارات در موردشان صدق نمی‌کند، مسیرهایی از تکامل که در آن‌ها موجودات میانی نسبت به قبلی‌های خود پیشرفتی نشان نمی‌دهند. ولی چنین Xهایی در جهان واقعی یافت نمی‌شوند. *داروین* در کتاب *اصل انواع* نوشته است:

> اگر می‌شد نشان داد که موجود پیچیده‌ای بدون تغییرات کوچک متوالی و متعدد پیدا شده باشد نظریه من کاملاً رد می‌شد.

بعد از یک صد و بیست و پنج سال، ما حالا خیلی بیش‌تر از *داروین* درباره حیوانات و گیاهان می‌دانیم و هنوز هیچ موردی نیافته‌ایم که در آن جانوران پیچیده‌ای از طریقی غیر از تغییرات کوچک، متوالی و متعدد پیدا شده باشد. و فکر نمی‌کنم اصلاً چنین موردی هرگز یافت شود. اگر پیدا شود من اعتقادم را به داروینیسم از دست می‌دهم. البته آن جانور احتمالی باید واقعاً پیچیده باشد و همان‌طور که در فصل‌های آینده خواهیم دید، باید منظورمان از واژه «کوچک» دقیق و مشخص باشد.

گـاهی تـاریخچه مراحـل تـدریجی بینـابینی را بـه صـورت حیوانـات امـروزی می‌نویسند، حتی با نقص‌های آشکاری در طرح نهایی. من فقط دو نمـونه از آن‌هـا را در این‌جا می‌آورم.

ماهی‌های ته دریـا از تخـت بـودن و داشـتن طـرح خـاص سـود می‌برنـد. دو نـوع متفاوت ماهی تخت در ته دریا زندگی می‌کنند و هر کدام تخـت بودنشـان را مسـتقل از دیگری ساخته‌اند. لقمه ماهی‌ها و ماهی‌های چهارگوش که از اقوام کوسه‌ها هسـتند به روشی تخت شده‌اند که می‌شود آن را روش بدیهی نامید. بدن آن‌ها طـوری از پهلـو رشد کرده که باله‌های بزرگی پیدا کرده‌اند. مانند کوسه‌ای هستند که زیر غلطـک مانـده ولی تقارنش به هم نخورده است. ماهی‌هـای دیل[1]، حلـوا و هـالیبوت و خویشـاوندان آن‌هـا بـه صـورت دیگـری تخـت شـده‌اند. ایـن ماهی‌هـای اسـتخوانی آبشُـش‌دار بـه شاه‌ماهی‌ها و قزل‌آلاها و غیره مربوط می‌شوند و ربطی به کوسه‌ها ندارند. ماهی‌هـای استخوانی، بر خلاف کوسه‌ها، معمولاً تمایل دارند در جهت عمودی تخـت شـوند. مثلاً شاه‌ماهی بلندی‌اش خیلی بیش‌تر از عرضش است. ایـن مـاهی از همـه بـدنش کـه در جهت عمودی تخت شده به عنوان سطح شـنا اسـتفاده می‌کنـد و وقـت شـنا کـردن در آب بدنش را موج می‌دهد. بنابراین، طبیعی این است که وقـتی اجـداد مـاهی دیـل و حلوا به اعماق دریا می‌روند بیش‌تر روی یک طرفشان تکیه کنند به جای این‌که مثـل اجداد لقمه‌ها و ماهی چهارگوش روی شکم تکیه کنند. این باعث شد شکلی به وجـود آید که یک چشم همیشه رو به پایین و به سمت شن‌ها یعنـی درواقـع بی‌فایـده باشـد. حین تکامل این مسئله با گردش چشم پایینی به سمت بالا حل شده است.

ما ایـن رونـد حرکـت چشـم را در مراحـل رشـد هـر بچـه مـاهی اسـتخوانی تخـت مشاهده می‌کنیم. هر بچه ماهی تخت دوران شناگری‌اش را با شـنا در نزدیکـی سـطح آب شروع می‌کند و درست مانند شاه ماهی به صورت عمودی و متقارن تخت است. امـا بعـد جمجمه‌اش بـه صـورتی عجیـب بـزرگ و نامتقـارن می‌شـود طـوری‌که یـک

[1] Plaice

چشمش، مثلاً چشم چپ، به طرف بالای سر رفته و آن طرف سر تمام می‌شود، این بچه ماهی در اعماق آب هر دو چشمش رو به بالا نگاه می‌کند و حالتی دارد که آدم را یاد تابلوهای پیکاسو می‌اندازد. بعضی از ماهی‌های تخت به طرف راست بعضی به پهلوی چپ و بعضی به هر یک از دو طرف تکیه می‌کنند.

جمجمه ماهی استخوانی تخت نشانه‌هایی از اصل تغییر شکل یافته آن را نشان می‌دهد. این نقص او شاهد گویای تاریخچه‌ای از تغییرات گام‌به‌گام است نه حاصل یک طرح ساخته و آماده و هیچ طراح ذی‌شعوری اگر بنا بود روی تخته‌ای تمیز طرح بکشد، چنین طرح معوجی را نمی‌کشید. بعید می‌دانم به ذهن طراح با فکری طرح چیزی مثل لقمه ماهی خطور کند. ولی تکامل هرگز کار را از یک تخته تمیز شروع نمی‌کند، کار او روی آن‌چه هست صورت می‌گیرد که در مورد اجداد لقمه ماهی‌ها، کوسه‌های شنا آزاد (free swimming) است. به‌طور کلی کوسه‌ها، برخلاف ماهی‌های استخوانی از جمله شاه‌ماهی‌ها، به این یا آن پهلو تخت نمی‌شوند، فقط از پشت تا شکم تا اندازه‌ای تخت‌اند و این یعنی وقتی اولین کوسه‌های قدیمی رفتند ته دریا، به تدریج در جهت شکل لقمه ماهی پیش رفتند و با توجه به شرایط آن عمق هر شکل میانی یک پیشرفت کوچک نسبت به نسل‌های قبلِ آن، که کم‌تر تخت بودند محسوب می‌شد.

از طرفی، وقتی اجداد شنا آزاد ماهی دیل و هالیبوت مثل شاه‌ماهی تخت شدند و رفتند ته دریا، برایشان راحت‌تر بود که روی یک طرف تکیه کنند تا این‌که روی شکم باریکی تعادل‌شان را حفظ کنند. گرچه در فرایند تکامل سرانجام به آن‌جا رسیدند که شکل عجیبی داشته باشند و دو چشم‌شان در یک طرف قرار گیرد. هر چند تخت شدن مثل لقمه ماهی‌ها ممکن است برای ماهی‌های استخوانی هم بهترین حالت باشد ولی آن صورت‌های احتمالیِ میانی که در فرایند این تکامل وجود دارد ظاهراً از رقبای خود که به پهلو می‌خوابیدند خیلی بهتر نبودند. در کوتاه مدت، آن‌ها که به پهلو می‌خوابیدند در شرایط عمق زیاد خیلی وضعیت بهتری داشتند. در فضای

ژنتیکی مسیر سرراستی است که اجداد ماهی‌های استخوانی معمولی را به ماهی‌های استخوانی تخت که به پهلو می‌خوابند و شکل جمجمه تغییر یافته دارند ربط می‌دهد. مسیر مشخصی وجود ندارد که ربط اجداد این ماهی‌ها را به ماهی‌های تختی که روی شکم می‌خوابند نشان دهد. البته این نظر همه‌ی واقعیت نیست، چون بعضی از ماهی‌های استخوانی وجود دارند که به صورت متقارن و مانند لقمه ماهی‌ها تخت شده‌اند. شاید اجداد شنا آزاد آن‌ها قبلاً به دلیل دیگری کمی تخت شده بودند.

مثال دیگر من از یک پیشرفت تکاملی که به خاطر اشکالات موجودات میانی رخ نداده یا شاید اگر می‌داد بهتر بود، شبکیه چشم ما (و همه مهره‌داران دیگر) است. عصب بینایی شبیه دیگر اعصاب مانند یک کابل، مجموعه‌ای از سیم‌های جداگانه‌ی پوشش‌دار است، که در عصب مورد نظر ما تعداد سیم‌ها ۳ میلیون است. یک سر هر کدام از این ۳ میلیون سیم به شبکیه و سر دیگرش به مغز متصل است، می‌توان آن‌ها را سیم‌هایی در نظر گرفت که از یک مجموعه شامل ۳ میلیون سلول نوری بیرون آمده و به کامپیوتر می‌روند تا در مغز پردازش شوند (این سلول‌های نوری در عمل سه میلیون ایستگاه تقویت کننده‌اند که اطلاعات را از تعداد بیش‌تری سلول نوری جمع‌آوری می‌کنند). همه این سیم‌ها که به صورت یک دسته از شبکیه جمع‌آوری می‌شوند، عصب بینایی چشم را تشکیل می‌دهند.

هر مهندسی این را طبیعی می‌داند که سلول‌های نوری به طرف نور قرار گیرند و سیم‌ها از پشت به سمت مغز هدایت شوند. شاید خنده‌دار باشد اگر بگوییم ممکن است سلول نوری پشت به نور باشد و سیم‌ها به طرف نور پراکنده شوند. ولی وضعیت در شبکیه همه مهره‌داران این‌چنین است. سلول‌های نوری در پشت سیم‌پیچی قرار گرفته‌اند و سیم‌ها در سمتی که به نور نزدیک‌تر است بیرون آمده‌اند. سیم باید از سطح شبکیه عبور کند و از روی نقطه‌ای (موسوم به نقطه کور) در شبکیه جهش کرده و به عصب بینایی بپیوندد. یعنی نور به جای این‌که از یک مسیر آزاد به سلول نوری برسد، باید از میان جنگلی از سیم‌های مرتبط عبور کند که احتمالاً تغییر

شکل یا باریک شدن‌هایی در این بین وجود خواهد داشت (عملاً این تغییرات چندان زیاد نیست، با این حال ذهن منظم هر مهندس را می‌تواند به خود مشغول کند!).

من توضیح دقیق این وضعیت عجیب را نمی‌دانم: زمانِ تکاملِ آن به خیلی پیش از این مربوط می‌شود. اما حاضرم شرط ببندم مسیری معادل آن‌که در سرزمین بیومورف دیدم در دنیای واقعی نیز وجود دارد، مسیری طولانی که باید طی شده باشد تا هر آن چیزی که اجداد ما به عنوان چشم داشتند را به وضعیت فعلی شبکیه برساند.

احتمالاً چنین مسیری وجود دارد، اما این مسیر فرضی وقتی در بدن جانوران میانی تحقق می‌یابد، اشکالاتی را نشان می‌دهد، اشکالاتی گذرا که وجود دارند. حتی بینایی موجودات میانی کمتر از اجدادشان است و این تسلای خاطر که آن‌ها دید بهتری از نسل‌های گذشته‌شان دارند وجود ندارد. مهم این بوده که در زمان و مکانی که هستند زنده بمانند.

قانون دولو[۱] می‌گوید تکامل بازگشت‌ناپذیر است. این را اغلب با نظریات بی‌اساس ایده‌آلیستی درباره ناگزیری پیشرفت اشتباه گرفته‌اند و همراه با مزخرفاتی درباره تکامل این‌طور بیان می‌کنند که قانون دوم ترمودینامیک را نقض می‌کند (بنا به گفته *سی. پی. اسنو*[۲] رمان‌نویس، آن‌ها که به نیمه‌ی تحصیل کرده‌های دنیا تعلق دارند می‌دانند قانون دوم ترمودینامیک چیست و متوجه‌اند که رشد یک نوزاد بیش‌تر آن قانون را نقض می‌کند تا نظریه تکامل را) دلیلی ندارد که فرایند کلی تکامل را بدون برگشت بدانیم. اگر در یک زمان، فرایندی تکاملی در جهت پیدایش شاخ بزرگ گوزن وجود داشته باید بعدها هم فرایندی به سوی پیدایش شاخ‌های کوچک وجود داشته باشد. قانون دولو از نظر آماری عدم احتمال پیموده شدن دوباره یک

۱ Dollo's Law

۲ C. P. Snow

مسیر را بیان می‌کند. ولی یک گام جهشی به راحتی ممکن است دوباره تکرار شود. در مورد گام‌های جهشی متعدد، حتی در دنیای بیومورف‌های ۹ ژنی، احتمال این‌که دو مسیر متفاوت دقیقاً به یک هدف برسند بسیار کم و تقریباً قابل اغماض است، زیرا در آن فضای ریاضی تعداد راه‌های ممکن فوق‌العاده زیاد است. این احتمال در مورد حیوانات واقعی که ژن‌های بسیار زیادتری دارند، بسیار کمتر است. در قانون دولو نه چیزی اسرارآمیز و افسانه‌ای وجود دارد و نه چیزی که لازم باشد در طبیعت امتحانش کنیم. این قانون یک قاعده احتمالات ساده و ابتدایی را بیان می‌کند.

بر این اساس احتمال این‌که یک مسیر تکاملی دوباره پیموده شود بی‌نهایت کم است و به همین دلیل، احتمال این‌که از دو نقطه شروع متفاوت و با طی دو مسیر مختلف تکامل به هدف واحدی برسیم تقریباً وجود ندارد.

اما گواه حیرت‌آورتری از قدرت انتخاب طبیعی این است که در طبیعت موارد متعددی یافت می‌شوند که در آن مسیرهای متفاوت تکامل، با نقطه‌های شروع متفاوت به هم نزدیک شده و تقریباً به نقطه پایان همانندی رسیده‌اند البته اگر نگاه دقیقی داشته باشیم – که در غیر این صورت به اِشکال برمی‌خوریم – متوجه می‌شویم که این همگرایی کلی نیست. مسیرهای متفاوت تکامل از نقاط شروع جداگانه خود در جهت‌های متفاوت از هم دور می‌شوند. مثلاً چشم هشت پا خیلی به چشم ما شباهت دارد اما سیم‌های سلول نوری آن مانند چشم ما به طرف نور جلو نیامده است. از این نظر، چشم اختاپوس معنادارتر می‌نماید. این چشم‌ها از نقاط شروع بسیار متفاوت به پایان مشابهی رسیده‌اند. این‌ها مواردی از جزئیات‌اند که آن اصل کلی را بر نمی‌تابند.

این تشابه‌های ظاهری اغلب خیلی عجیب‌اند و من بقیه این فصل را به مواردی از آن‌ها اختصاص می‌دهم. آن‌ها قدرت شگفت‌آور انتخاب طبیعی را در ایجاد طرح‌های خوب به ما نشان می‌دهند. هرچند وجود تفاوت در طرح‌های ظاهراً

مشابه، گویای این است که اصل و تاریخچه آن‌ها متفاوت است. موضوع این است که اگر طرحی آن قدرت خوب باشد که یک‌بار پیدا شود، آن طرح از نقاط شروع دیگر و در جاهای دیگر در قلمرو جانوران نیز، تکرار می‌شود. یکی از بهترین نمونه‌های طرح خوب را در راه‌یابی با پژواک ملاحظه کردیم.

ما بیش‌تر چیزهایی را که در مورد راه‌یابی با پژواک می‌دانیم از خفاش‌ها (و وسیله‌های ساخته انسان) گرفته‌ایم. ولی این وضعیت در بعضی جانوران، بدون این‌که ارتباطی با هم داشته باشند، وجود دارد. دست‌کم دو گروه از پرندگان از این روش استفاده می‌کنند و دولفین‌ها و وال‌ها هم با دقت بسیار بالایی آن را به کار می‌برند. به علاوه، در دو گروه متفاوت از خفاش‌ها، راهیابی با پژواک به دو صورت جداگانه پیدا شده است. پرنده‌هایی که از این روش استفاده می‌کنند پرنده روغنی[۱] آمریکای جنوبی و پرنده دم درازِ غازیِ شرقِ دور[۲]، همان که از لانه‌اش مردم سوپ مخصوصی به نام سوپ پرنده تهیه می‌کنند، هستند. این هر دو نوع پرنده در اعماق غار در آن‌جا که نور راه نمی‌یابد زندگی می‌کنند. صدای آن‌ها برای انسان قابل شنیدن است و مانند صدای خفاش مافوق صوت نیست. درواقع پرنده‌ای نیست که مسیریابی‌اش با پژواک به دقت کار خفاش‌ها باشد. کلیک این پرنده نه FM است و نه به درد سرعت‌سنج‌هایی می‌خورد که بر پایه‌ی اصل جابجایی دوپلر کار می‌کنند. احتمالاً، آن‌ها مثل خفاش میوه، یا همان روزتوس، فاصله زمانی سکوت بین کلیک‌شان و بازگشت صدای آن را اندازه می‌گیرند.

در این مورد با اطمینان می‌توانیم بگوییم که این دو گونه پرنده روش راه‌یابی با پژواک خود را مستقل از یکدیگر و جدا از خفاش‌ها پیدا کرده‌اند. این روش استدلال از نوعی است که معمولاً معتقدان به تکامل اغلب از آن استفاه می‌کنند. ما همه‌ی هزاران گونه پرنده را در نظر می‌گیریم و می‌بینیم اکثرشان از راه‌یابی با پژواک

---

۱ Oil birds

۲ Cave swiftlets of the Far East

استفاده نمی‌کنند. فقط دو دسته کوچک از آن‌ها این روش را به کار می‌برند و هر دو گونه در غار زندگی می‌کنند و غیر از این هیچ چیز مشترکی ندارند. البته ما معتقدیم که همه پرنده‌ها و خفاش‌ها باید اجداد مشترکی داشته باشند و اگر در تاریخچه آن‌ها به اندازه کافی به عقب برگردیم، آن جد مشترک را جد مشترک همه پستانداران (از جمله خود ما) و پرندگان می‌بینیم. اکثریت قاطع پستانداران و اکثریت قاطع پرندگان از راه‌یابی با پژواک استفاده نمی‌کنند و به احتمال بسیار زیاد اجداد آن‌ها هم همین‌طور بوده‌اند (آن‌ها پرواز هم نمی‌کردند – این هم یک فن دیگر است که به‌طور جداگانه چند بار پیدا شده است). به این ترتیب تکنولوژی راه‌یاب پژواکی به‌طور جداگانه در خفاش‌ها و پرنده‌ها پیدا شده است، درست همان‌طور که انسان‌های آمریکایی، انگلیسی و آلمانی هر کدام مستقلاً آن را ساختند. با همین نوع استدلال، منتها در سطحی کوچک‌تر، به این نتیجه می‌رسیم که اجداد مشترک پرنده روغنی و پرنده دم درازِ غازیِ هم از راه‌یاب پژواکی استفاده نمی‌کردند و این دو نوع پرنده این تکنولوژی را مستقل از یکدیگر ساخته‌اند.

در میان پستانداران فقط خفاش‌ها نیستند که روش راه‌یابی با پژواک را دارند، چند نوع متفاوت از پستانداران از جمله موش حشره‌خوار، موش کور و فک‌ها نیز به نظر می‌رسد مانند انسان‌های نابینا تا حدی از پژواک استفاده می‌کنند. تنها جانوری که از نظر پیشرفتگی در کاربرد پژواک مانند خفاش‌هاست، وال است. وال‌ها به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند دندان‌دار و بالین‌دار[۱]. چون اجداد این هر دو نوع ساکن خشکی بودند، این احتمال وجود دارد که هر یک از این هر دو گروه مستقل از دیگری شیوه وال بودن را یافته باشد. گروه وال دندان‌دار شامل وال اسپرم، وال کشنده و انواع متفاوت دولفین می‌شود که همه آن‌ها موجودات نسبتاً بزرگی مانند ماهی‌ها و اسکوئیدها را با آرواره‌شان شکار می‌کنند. در سر بعضی از وال‌های دندان‌دار که در میان آن‌ها فقط دولفین‌ها خوب مورد بررسی قرار گرفته‌اند،

---

۱ Baleen whales

دستگاه‌های دقیقی برای کنترل صدا و پژواک وجود دارد.

دولفین‌ها صدای کلیک‌های سریع و پشت سر هم با فرکانس بالا از خود درمی‌آورند که بعضی از آن‌ها قابل شنیدن و بعضی مافوق صوت هستند. احتمالاً «خربزه» یا همان برجستگی جلو سر دولفین، که شبیه گنبد رادار در هواپیماهای هشدار دهنده است، چیزی شبیه هشدار دهنده سونار دارد ولی تاکنون چگونگی طرز کار آن به دقت مشخص نشده است. یک سرعت نسبتاً پایین کلیک، مثل مورد خفاش‌ها، برای گردش معمولی وجود دارد که در حالت نزدیک شدن به طعمه به سرعت بالایی (۴۰۰ کلیک در ثانیه) می‌رسد. آن سرعت پایین کلیک هم به اندازه کافی سریع است. دولفین‌های رودخانه‌ای که در آب گل‌آلود زندگی می‌کنند در راه‌یابی با پژواک صدا باید از همه ماهرتر باشند ولی بعضی دولفین‌های دریاهای آزاد هم عملاً دست کمی از آن‌ها ندارند. در اقیانوس اطلس نوعی دولفین دماغ بطری وجود دارد که فقط با استفاده از سونارش بین دایره، مثلث و مربع تمایز قائل می‌شود (وقتی‌که در شرایط یکسانی قرار داشته باشند) و از فاصله ۶ متری اگر دو هدف فقط ۳ سانتی‌متر اختلاف داشته باشند می‌تواند تشخیص دهد کدام نزدیک‌تر است. این جانور می‌تواند کره‌ای به اندازه نصف توپ گلف از جنس فولاد را در محدوده ۶۰ متری پیدا کند. این توان او گرچه به پای بینایی انسان نمی‌رسد ولی احتمالاً از دید انسان در نور مهتاب بیش‌تر است.

بحث‌های اغراق‌آمیزی وجود دارند درباره این‌که اگر دولفین‌ها بخواهند می‌توانند با یکدیگر با تصاویر ذهنی ارتباط برقرار کنند. برای این کار باید از صدای بسیار انعطاف‌پذیرشان برای تقلید آن نوع صدا که از پژواک اشیای خاصی تولید می‌شود استفاده کنند تا به این ترتیب تصاویر ذهنی آن اشیاء را منتقل کنند. برای این پیشنهاد دلنشین مدرکی وجود ندارد. بنا به اصول نظری، خفاش‌ها هم می‌توانند این کار را انجام دهند، اما چون دولفین‌ها اجتماعی‌ترند در آن‌ها احتمال آن بیش‌تر است و احتمالاً دولفین‌ها باهوش‌تر هم هستند ولی این به موضوع ما مربوط نمی‌شود.

ابزارهای لازم برای برقراری ارتباط با تصاویر پژواکی نباید چندان پیچیده و دقیق‌تر از وسایل راه‌یابی با پژواک باشد که هم در خفاش‌ها و هم در دولفین‌ها وجود دارد. به نظر می‌رسد یک پیوستار تدریجی بین استفاده از صدا برای ایجاد پژواک و استفاده از آن برای تقلید پژواک‌ها وجود دارد.

به این ترتیب حداقل دو گروه از خفاش‌ها، دو گروه از پرنده‌ها، وال‌های دندان‌دار و احتمالاً انواع معدودی از پستانداران هر کدام به‌طور مستقل در محدوده زمانی یک‌صد میلیون سال گذشته تکنولوژی سونار استفاده کرده‌اند. ما نمی‌دانیم آیا حیواناتی که حالا منقرض شده‌اند – شاید پترواکتیل‌ها؟ – هم از این روش بهره می‌جستند یا خیر. تا به حال هیچ‌گونه حشره یا ماهی یافته نشده که از سونار استفاده کند، اما دو گروه کاملاً متفاوت از ماهی‌ها، یکی در آمریکای جنوبی و یکی در آفریقا تا حدی برای جابه‌جا شدن از سیستم مشابهی استفاده می‌کنند که به نظر می‌رسد به همان اندازه دقیق و ظاهراً باید با آن مربوط باشد ولی روش آن‌ها راه حل دیگری برای همان مسئله است. این‌ها ماهی‌های مولد برق ضعیف هستند. واژه ضعیف آن‌ها را از ماهی‌های مولد برق قوی جدا می‌کند. ماهی‌های مولد برق قوی از میدان الکتریکی نه برای جابه‌جا شدن بلکه برای گیج کردن طعمه‌شان استفاده می‌کنند. نحوه گیج کردن هم در گروه‌های مختلف ماهی‌ها مثلاً در مار ماهی‌های برقی (که مارماهی واقعی نیستند اما شکل آن‌ها متمایل به مارماهی واقعی است) و ماهی‌های پهن برقی به‌طور مستقل پیدا شده است.

ماهی‌های برق ضعیف آمریکای جنوبی و آفریقا کاملاً بی‌ربط به یکدیگرند ولی هر دو در قاره‌شان در آب‌های یکسان زندگی می‌کنند، آب‌هایی که بسیار گل‌آلود است و نمی‌شود در آن چیزی دید. آن‌ها از یک اصل فیزیک – میدان‌های الکتریکی درون آب – استفاده می‌کنند که از روش دولفین‌ها و خفاش‌ها هم دور از ذهن‌تر است. ما لااقل از پژواک یک تصویر ذهنی داریم، اما از این‌که میدان الکتریکی چگونه می‌تواند باشد تقریباً هیچ تصویر ذهنی نداریم. ما دو قرن پیش اصلاً از وجود

برق آگاه نبودیم. ما به عنوان انسان‌های ذهن‌گرا نمی‌توانیم با ماهی برقی کنار بیاییم ولی در نقش یک فیزیک‌دان می‌توانیم آن‌ها را درک کنیم.

در بشقاب شام به راحتی می‌توان ماهیچه‌های هر طرف ماهی را که مانند مجموعه‌ای از واحدهای کوچک ماهیچه است، دید. در بیش‌تر ماهی‌ها، آن‌ها پشت سر هم منقبض می‌شوند تا بدن را در حالت سینوسی قرار دهند و باعث حرکت به سمت جلو شوند. در ماهی برقی، هم از نوع ضعیف و هم از نوع قوی، ماهیچه‌ها تبدیل به یک باتری الکتریکی شده‌اند. هر واحد این باتری ولتاژی ایجاد می‌کند. این ولتاژها به صورت سری در امتداد طول ماهی به هم وصل می‌شوند، به‌طوری‌که در یک ماهی مولد برقی قوی، مثل مارماهی‌برقی، کل باتری به اندازه یک آمپر در ۶۵۰ ولت است. مارماهی‌برقی آن‌قدر قوی است که می‌تواند یک انسان را زمین بزند. ماهی‌های برق ضعیف برای مقاصدی که فقط گردآوری اطلاعات است، احتیاج به جریان یا ولتاژ بالا ندارند.

اصلی که راه‌یابی الکتریکی نام گرفته، گرچه در مورد ماهی‌ها خیلی شناخته شده نیست ولی در فیزیک موضوع آشنایی است. آن‌چه در پایین می‌آید در مورد ماهی مولد برق ضعیف آمریکای جنوبی و آفریقا صادق است، همگرایی در آن‌ها کامل است. جریانی از نیمه جلویی ماهی حرکت کرده به صورت خطوطی که حرکت دورانی دارد وارد آب می‌شود و به طرف انتهای ماهی (دُم) می‌رود. این جریان درواقع به صورت خط‌های مشخص نیست، بلکه میدان پیوسته‌ای است که به صورت یک پیل الکتریکی دور بدن ماهی را فرا می‌گیرد. اما برای انسان این‌طور راحت‌تر است که آن‌ها را به صورت دسته‌ای از خطوط منحنی مجسم کند که از دریچه‌هایی در قسمت جلو ماهی بیرون می‌آیند، در آب دور زده و از قسمت نوک دُم دوباره وارد ماهی می‌شوند. این ماهی چیزی شبیه به یک ولت‌سنج کوچک دارد که ولتاژ هر دریچه را نشان می‌دهد. اگر ماهی در آب در فضای باز و بدون مانعی در اطراف شناور باشد، این خطوط منحنی‌های ملایمی هستند و ولت‌سنج کوچک در کنار هر دریچه ولتاژ آن

را نرمال ثبت می‌کند. اما اگر در آن محدوده مانعی گزارش شود، مثلاً یک تخته سنگ یا نوعی خوراک وجود داشته باشد، خطوط جریانی که به آن برخورد می‌کند مسیرشان تغییر می‌کند. این تغییر، ولتاژ دریچه‌هایی را که خطوط‌شان تحت تأثیر قرار گرفته، تغییری می‌دهد و ولت‌متر مربوط آن را ثبت می‌کند. بنابراین بنا به اصول نظری، کامپیوتر می‌تواند با مقایسه الگوی ولتاژهایی که ولت‌سنجِ دریچه‌ها ثبت نموده‌اند، الگوی موانع اطراف آن ماهی را پیدا کند. ظاهراً این کار در مغز ماهی انجام می‌شود. باز هم نباید این موضوع را حمل بر این کرد که ماهی‌ها ریاضیدان‌های باهوشی هستند. آن‌ها وسیله‌ای دارند که معادلات لازم را حل می‌کند درست همان‌طور که مغز ما به‌طور ناخودآگاه هر بار که توپی را از هوا می‌گیریم معادله‌ای را حل کرده است.

مهم این است که آن ماهی بدن خود را کاملاً سفت نگه دارد. اگر مثل یک ماهی معمولی بدنش خم شود و پیچ بردارد دیگر کامپیوتر ذهنش نمی‌تواند از پس محاسبه آن تغییرات اضافی برآید. ماهی‌های برقی، حداقل دو بار، به‌طور مستقل، این روش هوشمندانه حرکت و گردش را یافته‌اند، اما باید بهای آن را هم بپردازند: آن‌ها باید روش معمول و بسیار مؤثر شنای ماهی معمولی که در آن به تمام بدن امواج مارپیچی داده می‌شود را کنار بگذارند. برای حل این مشکل همه بدن را مثل چوب سفت می‌کنند جز تنها باله درازی که در سرتاسر طول بدنشان دارند و به جای این‌که همه بدن را حرکت دهند فقط آن باله‌ی دراز را به حرکت می‌اندازند. حرکت این ماهی در آب نسبتاً کُند است، گرچه ظاهراً ارزش دارد که از خیر حرکت سریع بگذرد: چیزی که از این نوع حرکت به دست می‌آورد به از دست دادن سرعت در شنا می‌ارزد. جالب این است که ماهی‌برقی آمریکایی هم درست به راه حل ماهی آفریقایی رسیده است البته با کمی تفاوت. هر دو گروه یک باله دراز در سرتاسر بدن دارند ولی این باله در ماهی آمریکای جنوبی در امتداد شکم و در ماهی آفریقایی در پشت است. چنان‌که دیدیم این نوع تفاوت‌های جزئی از ویژگی‌های تکامل همگرا به

شمار می‌آید. البته در طرح‌های همگرای انسان‌های مهندس نیز این ویژگی وجود دارد.

گرچه اکثر ماهی‌های مولدِ برقِ ضعیف، هم در آفریقا و هم در آمریکای جنوبی، تخلیه الکتریکی‌شان به صورت پالس‌های جدا از هم صورت می‌گیرد و به این دلیل گونه‌ی «پالس» نامیده می‌شوند، در هر دو گروه، دسته‌ی کوچکی این کار را به صورت دیگری انجام می‌دهند و گونه «موج» نام گرفته‌اند. من دیگر وارد تفاوت این دو گونه نمی‌شوم. آن‌چه به این فصل مربوط می‌شود این است که دو بار، یک بار در گروه‌های جهان قدیم و یک بار در جهان جدید، دو دسته شدن به صورت پالس و موج به‌طور جداگانه صورت گرفته است.

یکی از حیرت‌آورترین نمونه‌های تکامل همگرا، در جیرجیرک‌های دوره‌ای[۱] است. قبل از آن‌که به موضوع همگرایی در آن‌ها برسیم، باید اطلاعات پیش‌زمینه‌ای به شما بدهم. در بسیاری از حشرات مراحل تغذیه در دوران جوانی که شامل بیش‌تر عمر است، با آن‌چه در بزرگسالی کوتاه‌مدت و زمان تکثیر است تفاوت دارد. بسیاری از مگس‌ها بیش‌تر عمرشان را به صورت نوزاد کرمی با تغذیه در زیر آب می‌گذرانند. بعد فقط یک روز روی آب آمده و در آن روز با شتاب همه‌ی دوره‌ی بزرگسالی خود را طی می‌کنند. می‌توانیم دوره بزرگسالی آن‌ها را مانند دانه بالدار ولی بی‌دوام گیاهی، مانند چنارفرنگی، در نظر بگیریم و نوزادها را مانند خود گیاه اصلی، با این تفاوت که چنار تعداد زیادی دانه تولید می‌کند و آن‌ها را سال‌های متوالی به زمین می‌ریزد. ولی نوزاد مگش فقط یک بار امکان بزرگسالی را دارد آن هم در پایان عمرش. در جیرجیرک همین روش مگس به صورت شدیدتر پیاده شده است. بزرگسال‌ها چند هفته عمر می‌کنند اما مرحله جوانی (که واژه فنی آن به جای نوزاد شفیره است) ۱۳ سال (در بعضی دیگر ۱۷ سال) طول می‌کشد. بزرگسال‌ها بعد از این‌که ۱۳ (یا ۱۷) سال را در خلوت زیرزمین پشت سر گذاشتند تقریباً در یک

[۱] Periodical cicadas

لحظه ظاهر می‌شوند. حمله‌ی جیرجیرک‌ها که دقیقاً با فاصله ۱۳ (یا ۱۷) سال یکبار در هر جا ممکن است رخ دهد، هجومی دیدنی است که به نادرست مردم آمریکا به آن «هجوم ملخ» می‌گویند. انواع شناخته شده‌ی آن‌ها جیرجیرک‌های ۱۳ ساله و جیرجیرک‌های ۱۷ ساله‌اند.

در این‌جا ما با یک واقعیت بسیار عجیب مواجهیم. معلوم شده این‌طور نیست که فقط یک گونه جیرجیرک ۱۳ ساله و یک گونه جیرجیرک ۱۷ ساله وجود داشته باشد، بلکه سه گونه از آن‌ها وجود دارد و هر کدام از این سه گونه، هم گونه ۱۳ ساله و هم گونه ۱۷ ساله دارند. بنابراین، رسیدن به مرحله‌ای از تکامل که در آن این موجودات به گونه‌های ۱۳ ساله و ۱۷ ساله تقسیم شوند، مسیری است که حداقل سه بار به‌طور مستقل در طبیعت پیموده شده است و به نظر می‌رسد که در هر سه مورد از فاصله سال‌های بین ۱۳ و ۱۷ یعنی از ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ سال به‌طور همگرا اجتناب شده است. چرا این‌طور است؟ علت را نمی‌دانیم. تنها به ذهن بعضی‌ها این رسیده است که اعداد ۱۳ و ۱۷ عدد اول هستند و از این نظر با ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ تفاوت دارند. عدد اول عددی است که غیر از خودش و یک بر عدد دیگری قابل تقسیم نباشد و بر این اساس این‌طور تصور می‌شود که حیوانی که به صورت دوره‌ای حمله می‌کند از دوره‌های یکی در میانِ «جمع شدن» و گرسنگی دشمنان، جانوران غالب یا انگل‌هایش استفاده می‌کند. و اگر این حمله‌ها طوری تنظیم شوند که در فاصله‌ی زمانی اعداد اول رخ دهند برای دشمنان تنظیم کردن دوره زندگی‌شان بسیار مشکل‌تر می‌شود. اگر جیرجیرک‌ها مثلاً هر ۱۴ سال یک بار حمله می‌کردند ممکن بود مورد استفاده انگل‌هایی که دوره زندگی‌شان ۷ ساله است، قرار گیرند. نظر عجیبی است اما از خود پدیده شگفت‌انگیزتر نیست. ما واقعاً نمی‌دانیم در عددهای ۱۳ و ۱۷ چه حکمتی نهفته است. در این‌جا برای ما مهم است بدانیم این اعداد چه چیز خاصی دارند که سه گونه متفاوت جیرجیرک هر کدام به‌طور مستقل ولی همگرا آن را انتخاب نموده‌اند.

نمونه‌هایی از همگرایی در مقایس بزرگ را می‌توانیم در دو یا چند قاره که مدت‌های طولانی جدا از یکدیگرند و در حیوانات ساکن آن‌ها معاملات همانندی صورت می‌گیرد، ببینیم. منظور من از «معاملات» روش‌های زندگی است مثل کندن زمین در کرم‌ها، بیرون آوردن خاک در مورد مورچه‌ها، دنبال کردن گیاه‌خواران بزرگ و خوردن برگ در بالای درخت. روش‌های زندگی پستاندارن در قاره‌های جدا از هم آمریکای جنوی، استرالیا و دنیای قدیم نمونه خوبی از تکامل همگرا است.

این قاره‌ها همیشه جدا از هم نبودند. چون عمر ما با دهه اندازه گرفته می‌شود و تمدن‌ها و سلسله‌های پادشاهی را با قرن می‌سنجیم، برای ما معمولاً نقشه جهان و مرز قاره‌ها چیز ثابتی به شمار می‌آید. سال‌ها پیش *آلفرد وینگر*[1] استاد آلمانی فیزیک زمین، فرضیه رانده شدن قاره‌ها از یکدیگر را مطرح کرد ولی تا بعد از جنگ جهانی دوم بیش‌ترِ مردم نظر او را جدی نگرفتند. اغلب این واقعیت که آمریکای جنوبی و آفریقا تا حدی شبیه قطعات جدا شده یک معمای زیگزاک هستند را یک تصادف جالب فرض می‌کردند. در یکی از کامل‌ترین و سریع‌ترین انقلاب‌های علمی جهان، تئوری رانش قاره‌ها، که قبلاً مورد بحث و تردید بود، با نام «جابجایی قاره‌ای» مورد قبول جهانیان قرار گرفت. اکنون شواهد زیاد برای رانش قاره‌ها و مثلاً جدا شدن آمریکای جنوبی از آفریقا وجود دارد ولی موضوع این کتاب زمین‌شناسی نیست و من وارد جزئیات آن نمی‌شود. مسئله مهم برای ما این است که مقیاس زمانی جدایی قاره‌ها تقریباً به اندازه مقیاس زمانی تکامل در حیوانات مختلف است و اگر بخواهیم الگوی تکامل حیوانات قاره‌ها را بررسی کنیم نمی‌توانیم رانش قاره‌ها را ندیده بگیریم.

تا ۱۰۰ میلیون سال پیش، آمریکای جنوبی از طرف غرب به آفریقا و از جنوب به قطب جنوب وصل بود. قطب جنوب به استرالیا و هند از طریق ماداگاسکار به آفریقا وصل بود. درواقع قاره جنوبی بسیار بزرگی وجود داشت که امروزه ما آن را

[1] Alfred Wegener

گنداونا[۱] می‌نامیم و شامل آمریکای جنوبی، آفریقا، ماداگاسکار، هند، قطب جنوب و استرالیای کنونی بود. یک قاره بزرگ شمالی هم به نام [لاراسیا[۲]] وجود داشت که شامل آمریکای شمالی، گرینلند، اروپا و آسیا (به جز هند) فعلی می‌شد. آمریکای شمالی به آمریکای جنوبی وصل نبود، حدود صد میلیون سال پیش گسست بزرگی در توده‌های خشکی پیدا شد و قاره‌ها به کندی، به سمت جایی که اکنون هستند به حرکت در آمدند (البته این حرکت همچنان ادامه دارد). آفریقا از سمت دریای عرب به آسیا وصل و جزء قاره بزرگی شد که امروز از آن با نام دنیای قدیم یاد می‌کنیم. آمریکای شمالی از اروپا دور شد، قطب جنوب به سمت جنوب و جایگاه یخی امروزی‌اش میل کرد. هند خودش را از آفریقا جدا کرد و به طرفی رفت که حالا اقیانوس هند نام گرفته و سرانجام به جنوب آسیا برخورد و رشته کوه هیمالیا را پدید آورد. استرالیا از قطب جنوب دور و وارد دریاهای آزاد شد و به صورت یک قاره‌ی جزیره‌مانند در آمد که از هر جای دیگر کیلومترها فاصله دارد.

به نظر می‌رسد آن گسست بزرگ در قاره جنوبی گندوانا در زمان دایناسورها شروع شده باشد. وقتی جدایی آمریکای جنوبی و استرالیا شروع شد و هر کدام خود را از قسمت‌های دیگر جهان دور کردند، هر کدام محموله‌های دایناسور و دیگر جانوران کم اهمیت‌تر خود را که اجداد پستانداران امروزی بودند حمل می‌کردند. بعد از آن وقتی به دلایل ناشناخته‌ای که هنوز هم مورد بررسی‌اند، دایناسورها (غیر از آن‌هایی که امروز پرنده می‌نامیم) منقرض شدند، در تمام دنیا نسل‌شان از بین رفت. این باعث ایجاد خلائی در روش زندگی جانوران روی خشکی شد. این خلاء طی یک دوره چند میلیون ساله تکامل، بیش‌تر با پیدا شدن پستانداران، برطرف گردید. در این‌جا نکته جالب برای ما این است که سه خلاء مستقل از هم، که در استرالیا، آمریکای جنوبی و جهان قدیم وجود داشت هر کدام به‌طور جداگانه با پستاندارانی پُر

---

۱ Gondwanaland

۲ Laurasia

شود.

پستاندارانی که در این قاره‌ها، بعد از انقراضِ کمابیش دست‌جمعی دایناسورها، وجود داشتند، همه کوچک و بی‌اهمیت و احتمالاً «شبرو» بودند. زیرا در سایه دایناسورها واقع شده و فرصتی برای حضور و خودنمایی نداشتند. جانوران این سه منطقه می‌توانستند در جهت‌های بسیار متفاوت تکامل یابند. تا حدی هم همین‌طور شد. در دنیای قدیم چیزی نبود که شبیه تنبل، جانور غول‌پیکر و کُند حرکت آمریکای جنوبی باشد، که متأسفانه حالا منقرض شده است. بخش بزرگی از پستانداران آمریکای جنوبی را یک نوع خوک گینه‌ای غول‌پیکر تشکیل می‌داد که به بزرگی یک کرگدن امروزی ولی جونده بود (باید بگویم کرگدن «امروزی» زیرا در جانوران دنیای قدیم کرگدن غول‌پیکری به بزرگی یک خانه دو طبقه وجود داشت). گرچه در هر قاره پستاندارن خاص آن‌جا پیدا شدند ولی الگوی کلی تکامل در هر سه یکسان بود. در هر سه خشکی، ابتدا پستانداران موجود در جهات مختلف تکامل پیشرفت و از یکدیگر دور شدند. در هر قاره برای هر روشِ زندگی، جانوران خاصی پیدا شدند که در بسیاری از موارد شباهت قابل ملاحظه‌ای با جانوران قاره‌های دیگر که برای همان روش زندگی اختصاص یافته بودند، [داشتند]. هر نوع روش زندگی مانند نقب زدن، شکار حیوانات بزرگ، چریدن در دشت‌ها و غیره تا به تکامل‌های همگرا ولی مستقل از هم، در دو یا سه قاره‌ی جدا از هم بود. علاوه بر این سه سرزمین اصلی، در جزایر کوچک‌تر مانند ماداگاسکار هم تکامل‌های مستقل داستان‌های موازیِ خودشان را دارند که دیگر وارد آن‌ها نمی‌شوم.

غیر از پستانداران عجیبِ تخم‌گذارِ استرالیا یعنی پلاتی‌پوس نوک اردکی[۱] و مورچه‌خوار تیغی، همه پستانداران امروزی به یکی از دو گروه بزرگ تعلق دارند. این دو گروه «کیسه‌دارها» (جانورانی که نوزادشان بسیار کوچک به دنیا می‌آید و مدتی در

---

۱ duck-billed platypus

کیسه مادر می‌ماند و جفت‌دارها[1] (که همه پستاندارن دیگرند) قلمرو کیسه‌داران استرالیا و قلمرو جفت‌دارها، دنیای قدیم بود و این هر دو گروه به موازات هم در آمریکای جنوبی حاکم بودند و ماجرای آمریکای جنوبی پیچیده است زیرا دستخوش حمله‌های گاه‌به‌گاه پستانداران آمریکای شمالی می‌شدند.

با بیان این مقدمه، اکنون می‌توانیم نگاهی به بعضی از روش‌های همگرای حیات داشته باشیم. یک روش استفاده کردن از زمین‌های پرعلف است که به نام‌های مختلف مثل «مرغزار»، «ساوانا» و غیره نامیده می‌شوند. جانورانی که از این روش استفاده می‌کنند شامل اسب (که نوع آفریقای اصلی آن گورخر و نوع بیابانی آن الاغ نامیده می‌شود) و گاه، مانند گاو وحشی (bison) آمریکای شمالی است. این گاوهای وحشی بسیار شکار شده‌اند و نزدیک به انقراض قرار دارند. گیاه‌خواران عموماً روده‌ی دراز دارند که در آن انواع باکتری‌های تخمیر کننده وجود دارد زیرا علف غذای کم‌کیفیتی است. نیاز به هضم طولانی دارد. این جانوران به جای این‌که وعده‌های غذاییشان را با فاصله باشد، کمابیش مدام در حال خوردن‌اند. در تمام روز حجم زیادی از مواد گیاهی مانند رودخانه در بدن آن‌ها در جریان است. این‌ها اغلب جثه‌ی بزرگ دارند و به صورت گله‌های بزرگ زندگی می‌کنند. هرکس که آن‌ها را شکار کند، به کوهی از غذای باارزش دسترسی پیدا می‌کند. بنابراین چنان‌که خواهیم دید نوعی روش زندگی به کار مشکل گرفتن و کشتن آن‌ها اختصاص یافته است. این روش زندگی حیوانات وحشی است. منظور من از روش درواقع مجموعه‌ای از انواع روش‌های نزدیک به هم است. شیرها، پلنگ‌ها، چیتاها، سگ‌های وحشی و کفتارها هر کدام با روش ویژه خود شکار می‌کنند. این طرز دسته‌بندی در گیاه‌خواران و در همه روش‌های دیگر زندگی وجود دارد.

گیاه‌خواران دارای حواسی هستند که همیشه نسبت به جانوران وحشی بسیار هشیارند. اغلب می‌توانند بسیار سریع بدوند تا از حیوانات وحشی بگریزند. به این

[1] Placentals

دلیل اغلب، پاهاشان بلند و باریک است و نوعاً روی نوک پاها که طی مراحل تکامل به‌طور اختصاصی راست و محکم شده است و ما به آن نام «سُم» داده‌ایم، می‌دوند. گاو دو انگشت بزرگ شده در انتهای هر پا دارد، همان سم شکافته‌ای که اغلب دیده‌ایم. اسب هم تقریباً همین‌طور است، با این تفاوت که، احتمالاً به دلیل حوادث تاریخی، به جای دو انگشت روی یک انگشت می‌دود. آن یک انگشت درواقع انگشت میانی از ۵ انگشت پاست. انگشت‌های دیگر طی مراحل تکامل ناپدید شده‌اند، گرچه هر از گاهی در بازگشت‌هایی غیرمنتظره دوباره ظاهر می‌شوند.

چنان‌که دیدم، در دورانی که اسب‌ها و گاوها در جاهای دیگر دنیا در حال تکامل بودند آمریکای شمالی جدا افتاده بود. اما آمریکای جنوبی علفزار وسیعی داشت و گروه گیاه‌خوارانِ درشت‌جثه‌ی خاص خودش را پرورش می‌داد، تا از آن منابع استفاده کنند. آن‌جا کرگدن‌های غول‌پیکری مانند Leviathans وجود داشت که ربطی به کرگدن‌های واقعی نداشتند. جمجمه بعضی از گیاه‌خواران اولیه آمریکای جنوبی حاکی از این است که آن‌ها خرطوم‌شان را جدا از فیل‌های واقعی پیدا کردند. بعضی شبیه شتر بودند، بعضی‌ها به هیچ‌کدام از حیوانات (امروزی) روی زمین شباهت نداشتند، یا چیزی معادل شتر گاو پلنگ امروزی بودند. گروهی که Litopterns نام گرفتند، پاهای‌شان بسیار شبیه پای اسب بود ولی اصلاً ربطی به اسب نداشتند. این شباهت ظاهری یک متخصص آرژانتینی قرن نوزده را چنان به اشتباه انداخت که فکر می‌کرد آن‌ها اجداد همه اسب‌های روی زمین‌اند. در واقع شباهت آن‌ها به اسب ظاهری و همگرایانه بود. زندگی در علفزار تقریباً در سراسر دنیا یکسان است و اسب‌ها و لیتوپترن‌ها هر کدام جداگانه ویژگی‌های همانندی را برای سازگاری با مشکلات زندگی در علفزار در خود به وجود آوردند. لیتوپترن‌ها مانند اسب‌ها همه انگشت‌های پای خود را از دست دادند به جز انگشت میانی هر پا که بزرگ شد و پایین‌ترین مفصل پا را تشکل داد و سم را ساخت. گرچه شکل پای لیتوپترن از پای اسب غیرقابل تشخیص است ولی این دو جانور رابطه بسیار دوری با یکدیگر دارند.

در استرالیا چرندگان و علف‌خوارانِ بزرگ با کانگوروها تفاوت زیاد دارند. کانگوروها هم در حرکت به سرعت نیاز دارند ولی آن را به‌طور دیگری تأمین کرده‌اند. به جای این‌که مثل اسب‌ها (لیتوپترن‌ها) چهار نعل یورتمه بروند، ترجیح داده‌اند با دو پا بپرند و از دُم بزرگشان برای حفظ تعادل استفاده کنند. بحث این‌که کدام یک از این دو روش بهتر است در این‌جا مورد ندارد. اگر بدن طوری تکامل یابد که به‌طور کامل از وضعی که دارد سود ببرد، هر یک از روش‌ها کاملاً مؤثر خواهد بود. اسب و لیتوپترن روش روی چهار پا دویدن را پیش گرفتند و در نتیجه پاهای‌شان مثل هم شد. کانگورو بنا را بر پرش با دو پا گذاشت و در نتیجه پاهای عقب و دم بزرگ و منحصر به فردی (لااقل از زمان دایناسور به بعد) پیدا کرد. اسب و کانگورو به مقصدهای متفاوتی رسیدند، علت آن شاید به‌طور تصادفی متفاوت بودن نقطه شروع‌شان بوده است.

حالا با برگشتن به گوشت‌خواران که علف‌خواران بزرگ از آن‌ها می‌گریختند، همگرایی‌های جالبی را مشاهده می‌کنیم. در دنیای قدیم شکارچیان بزرگی مانند گرگ، سگ، کفتار و گربه‌های بزرگ چون شیر، ببر، پلنگ و چیتا را می‌شناسیم. گربه‌سان بزرگی که همین اواخر از بین رفته، «ببر دندان‌شمشیری» است که به خاطر دندان‌های نیش بزرگش این نام را گرفته است. با دندان‌های نیشی که از آروارهای بالا به بیرون زده بود ترسناک می‌نمود. تا این اواخر در استرالیا یا در دنیای جدید سگ و گربه واقعی واجود نداشت (پوما و یوزپلنگ‌ها اخیراً از گربه‌های دنیای قدیم پیدا شده‌اند) ولی در این هر دو قاره کیسه‌دارانی معادل یکدیگر وجود داشتند. در استرالیا تای‌لاسین[1] یا گرگ کیسه‌دار (که اغلب گرگ تاسمانی نامیده می‌شود چون در تاسمانی زمان بیش‌تری دوام داشت تا در سرزمین اصلی استرالیا) به طرز تأسف‌باری رو به نابودی رفت، چون مردم یا آن‌ها را شکار می‌کردند یا به عنوان حیوانات مضر به صورت دست جمعی می‌کشتند (البته هنوز امید ضعیفی وجود دارد که در مناطق

[1] Thylacine

دور افتاده، تاسمانی وجود داشته باشند. مناطقی که خود بر اثر فعالیت‌های ایجاد کار برای انسان‌ها، در معرض ویرانی قرار دارند). به هر حال، نباید آن‌ها را با dingo اشتباه گرفت. دینگو سگ واقعی است و بومی‌ها این اواخر آن را به استرالیا آوردند. یک فیلم سینمایی که از آخرین «تای‌لاسین» باقی‌مانده در سال ۱۹۳۰ ساخته شده، آن را موجودی عجیب و سگ‌مانند نشان می‌دهد که با بی‌قراری و دلتنگی در قفس باغ وحش راه می‌رود، فقط کیسه‌دار بودنش آن را از سگ متفاوت می‌کند و کمی طرز نگه داشتن لگنچه و پاهای عقبش، که احتمالاً به وضعیت کیسه‌اش مربوط می‌شود، با سگ تفاوت دارد. برای کسی که به سگ علاقه‌مند است، تأمل در این رویکردِ دیگر به طرحِ سگ، به این مسافر مراحل تکامل که در جاده‌ای به موازات سگ ولی صد میلیون سال پیش جدا شده از آن، موجودی که تا حدی آشنا، و تا حدی بیگانه و آن جهانی است، تجربه هیجان‌آوری است. شاید این حیوان دشمن انسان بود. گرچه انسان‌ها برای آن‌ها آفت بزرگ‌تری بودند. حالا هیچ «تای‌لاسین»ی باقی نمانده ولی تعداد انسان‌ها به اندازه قابل ملاحظه‌ای زیاد شده است.

در آمریکای جنوبی، هم در دوره جدا افتادگی، که از آن صحبت شد، هیچ سگ و گربه‌ی واقعی وجود نداشت ولی مانند استرالیا، معادل کیسه‌دارها وجود داشت. احتمالاً تماشایی‌تر از همه تیلاکوس‌میلوس[۱] بود که درست شبیه ببرِ دندان‌شمشیری دنیای قدیم بود که به تازگی نابوده شده است، فقط کمی آن‌چنان‌تر بود. امیدوارم متوجه منظورم شده باشید. با نگاه دریده‌تر و دهان بازتر، به نظرم باید وحشتناک‌تر می‌بود. اسمش از قرابت ظاهری‌اش با ببر دندان‌شمشیری (*smilodon*) و گرگ تاسمانی تای‌لاسین خبر می‌دهد ولی از نظر اجداد با هر دوی آن‌ها فاصله زیاد دارد. به تای‌لاسین کمی نزدیک‌تر است چون هر دو کیسه دارند ولی هر کدام بدن بزرگ گوشت‌خوارشان را در قاره‌های دور از هم و جدا از گوشت‌خورانی که جفت دارند و سگ‌ها و گربه‌های واقعی جهان قدیم ساخته‌اند.

---

۱ Thylacosmilus

در استرالیا و آمریکای جنوبی و دنیای قدیم نمونه‌های زیادتری از تکامل‌های همگرای چندتایی وجود دارد. استرالیا موش کور کیسه‌داری دارد که ظاهرش با موش کور قاره‌های دیگر فرقی ندارد و روش زندگی‌اش مانند آن‌هاست و مانند آن‌ها پنجه‌های پرقدرتی برای کندن زمین دارد. یک موش کیسه‌دار دیگر در استرالیا هست که شباهت زیادی به موش ندارد و طرز زندگی‌اش هم زیاد به موش شبیه نیست. مورچه‌خواری (به جای موریانه، به خاطر راحتی از کلمه مورچه استفاده می‌شود، در آن‌ها هم چنان‌که خواهیم دید نوعی همگرایی وجود دارد) یک روش زندگی است که گونه‌های زیادی از پستانداران به‌طور همگرا آن را برگزیده‌اند. مورچه‌خوارها را می‌شود به مورچه‌خوارانی که نقاب می‌زنند و مورچه‌خوارانی که از درخت بالا می‌روند و آن‌هایی که روی زمین می‌گردند تقسیم کرد. برحسب انتظار در استرالیا مورچه‌خوار کیسه‌داری وجود دارد. این جانور میرمکوبیوس[۱] نامیده می‌شود. پوزه‌ی باریک و درازش را در لانه مورچه فرو می‌کند و با زبان دراز و چسبناکش طعمه را بالا می‌کشد. این مورچه‌خوار روی زمین زندگی می‌کند. استرالیا مورچه‌خوار نقب‌زن هم دارد که تیغ‌دار است. این یکی کیسه‌دار نیست ولی از پستانداران تخم‌گذار است و آن‌قدر از نظر اجداد با ما فاصله دارد که در قیاس با او کیسه‌دارها عموزاده‌های نزدیک ما محسوب می‌شوند. مورچه‌خوارِ تیغی هم پوزه‌اش دراز و باریک است ولی تیغ‌ها او را به خارپشت شبیه کرده‌اند تا به مورچه‌خوارها.

آمریکای جنوبی در کنار «ببر دندان‌شمشیری» به راحتی می‌توانست مورچه‌خوار کیسه‌دار هم داشته باشد اما در آن‌جا پستانداران دارای جفت خیلی زود جانشین مورچه‌خوارها شدند. بزرگترین مورچه‌خوار امروزی Mymecophaga (این کلمه در یونانی به معنی مورچه‌خوار است) است که با جثه‌ی بزرگش در آمریکای جنوبی روی زمین می‌گردد و احتمالاً در خوردن مورچه از دیگران تخصص بیش‌تری دارد. این جانور مثل میرمکوبیوس (Myrmecobius) کیسه‌دار استرالیایی، پوزه‌ای دراز و

---

۱ mirmecobius

نوک‌تیز ولی درازتر و نوک‌تیزتر از آن دارد و زبانش هم بسیار دراز و چسبناک است. آمریکای جنوبی یک مورچه‌خوار کوچک بالا رونده از درخت هم دارد که پسر عموی نزدیک «میرمکوبیوس» محسوب می‌شود و مانند یک مینیاتور نوعِ تعدیل یافته و شکل بینابینی و سوم آن به نظر می‌رسد. گرچه این مورچه‌خوارِ پستاندار دارای جفت است ولی خیلی از جفت‌دارهای جهان قدیم فاصله دارد. این‌ها به یک خانواده‌ی منحصر به آمریکای جنوبی که شامل «آرمادیلوها» و تنبل‌ها هم هست تعلق دارند. این خانواده‌ی قدیمی دارای جفت، از نخستین روزهای جدایی قاره با کیسه‌داران هم‌زیستی داشته‌اند.

مورچه‌خواران دنیای قدیم شامل انواع گوناگون Pangolinها در آفریقا و آسیا، از شکل‌های درختی تا چاله‌کَن، همه پوزه‌های نوک‌داری شبیه میوه کاج دارند. در آفریقا هم آردواک[1] یا خرس مورچه‌خوار وجود دارد که تا حدی در کندن زمین تخصص دارد. یک ویژگی همه مورچه‌خوران چه کیسه‌دار چه دارای جفت یا monotreme این است که سرعت متابولیسم آن‌ها بسیار پایین است. سرعت متابولیسم، سرعت سوخت و ساز مواد شیمیایی موجود در بدن آن‌هاست و مانند فشار خون قابل اندازه‌گیری است. در کل بین سرعت سوخت و ساز و جثه جانور همبستگی وجود دارد. هر چه جانور کوچک‌تر باشد سرعت متابولیسم آن بیش‌تر است درست همان‌طور که موتور اتومبیل‌های کوچک تمایل بیش‌تری به گردش بالا دارند تا اتومبیل‌های بزرگ! در بعضی حیوانات سرعت متابولیسم به جثه‌شان مربوط می‌شود ولی مورچه‌خوارها از هر نژاد و دسته‌ای که باشند نسبت به جثه‌ای که دارند سرعت سوخت و سازشان پایین است. علتش معلوم نیست اما این همگرایی چشمگیر در میان حیواناتی که جز خوردن مورچه وجه اشتراک دیگری ندارند وجود دارد و تقریباً با اطمینان می‌توان گفت این قضیه باید به نحوی در ارتباط با آن عادت مشترک‌شان باشد.

---

[1] aardvark

چنان‌که قبلاً اشاره شد مورچه‌هایی که مورچه‌خوار آن‌ها را می‌خورد اغلب اصلاً مورچه واقعی نیستند بلکه موریانه‌اند. موریانه‌ها را معمولاً به عنوان مورچه بی‌رنگ می‌شناسیم اما آن‌ها بیش‌تر به سوسک حمام نزدیک‌ترند تا به مورچه‌های واقعی که به انواع زنبورها مربوط می‌شوند. موریانه‌ها در ظاهر شبیه مورچه‌اند چون به صورت همگرا عادت‌هایی مانند عادات آن‌ها را در خود ایجاد کرده‌اند. می‌توان گفت «طیف یکسانی از عادات» را ایجاد کرده‌اند، چون درواقع انواع متفاوت روش‌های زندگی برای مورچه‌ها یا موریانه‌ها وجود دارد و هر دوی این‌ها به طور جداگانه آن‌ها را کسب کرده‌اند. در این‌جا هم مانند اغلب روش‌های تکامل همگرا تفاوت‌ها و شباهت‌ها مشخص کننده‌اند. هم مورچه و هم موریانه در کُلُنی‌های بزرگی که شامل کارگرانِ سترونِ بدونِ بال است زندگی می‌کنند. وظیفه این کارگران تولید گروه بال‌دار است که پرواز می‌کنند تا کُلُنی‌های جدیدی بسازند. یک تفاوت جالب آن‌ها این است که در مورچه همه‌ی ماده‌ها سترون‌اند حال آنکه در موریانه‌ها سترون‌ها ممکن است نر یا ماده باشند. کُلُنی مورچه و موریانه یک (گاهی چند) ملکه بزرگ دارد که بزرگی آن‌ها بی‌تناسب است. در هر دوی آن‌ها کارگرها طبقه خاصی مانند طبقه سرباز را تشکیل می‌دهند و گاهی هم به صورت سپاهِ ویژه‌ی جنگ در می‌آیند، مخصوصاً با آن آرواره‌های بزرگشان (این در مورد مورچه‌هاست، موریانه‌ها برای مبارزه شیمیایی مثل لوله تفنگ می‌شوند) که نمی‌توانند چیزی بخورند و باید کارگران غیرسرباز به آن‌ها غذا بدهند. انواع خاصی از مورچه‌ها به موازات انواع خاص موریانه‌ها وجود دارند. مثلاً عادت کِشت قارچ در مورچه‌ها (در دنیای قدیم) و در موریانه‌ها (در آفریقا) به‌طور جداگانه پیدا شده است. مورچه‌ها یا موریانه‌ها مواد گیاهی را جمع‌آوری می‌کنند ولی آن‌ها را نمی‌خورند بلکه به صورت «کمپوست» در می‌آورند که در آن قارچ می‌روید. آن‌ها از آن قارچ تغذیه می‌کنند؛ آن قارچ در جایی به جز لانه مورچه یا موریانه نمی‌روید. عادت کشت قارچ را چند نوع سوسک هم به‌طور مستقل و همگرا کشف کرده‌اند.

در میان خود مورچه‌ها هم همگرایی قابل توجهی وجود دارد. گرچه بیش‌تر مورچه‌های کُلُنی لانه‌شان جای ثابتی دارد ولی مورچه‌هایی که به صورت گروه‌های مهاجم حمله می‌کنند نیز زندگی موفقی دارند. این عادت، سپاهی‌گری[1] نامیده می‌شود. اکثراً می‌بینیم که مورچه‌ها این ور و آن ور می‌روند و دنبال چیزی می‌گردند و بیش‌تر انواع آن‌ها با غنیمت‌های‌شان به یک لانه ثابت برمی‌گردند ولی ملکه و آن‌ها که تازه از تخم بیرون آمده‌اند اغلب در لانه می‌مانند. عادت مورچه‌های سپاهی این است که گروه بچه‌ها و ملکه را هم با خود ببرند. کارگران، تخم‌ها و نوزادها را در آرواره خود حمل می‌کنند. در آفریقا مورچه‌هایی با نام «راننده» روش سپاهی‌گری را پیشه خود کرده‌اند. در آمریکای جنوبی و مرکزی مورچه‌های «ارتشی» از نظر عادت و ظاهر خیلی شبیه مورچه‌های راننده هستند. آن‌ها ارتباط نزدیکی با هم ندارند. یقیناً این‌ها ویژگی‌های روش زندگی «ارتش» را جدا از آن‌ها ولی به صورت همگرا یافته‌اند.

هم مورچه‌های راننده و هم ارتشی، کُلُنی‌های بسیار بزرگی دارند که در مورچه‌های ارتشی جمعیت آن‌ها به یک میلیون و در مورچه‌های راننده به بیست میلیون می‌رسد. هر دو، زندگیِ خانه‌به‌دوشی را به صورت‌های «ایستا» تبدیل نموده و اقامتگاه یا پناهگاه نسبتاً ثابت دارند. مورچه‌های ارتش یا راننده، یا بهتر بگوییم کُلُنی‌های آن‌ه،ا وحشی‌های بی‌رحم و ویرانگری در جنگل‌هایشان هستند. هر دو حیوانات سر راه خود را ذره‌ذره می‌کنند و مظهر وحشت در سرزمین خود هستند. روستاییانِ بخش‌هایی از آمریکای جنوبی معروفند به این‌که وقت نزدیک شدنِ حمله‌ی لشکر مورچه‌ها، روستا را خالی و همه جا را می‌بندند و قفل می‌کنند و همه چیز را در بشکه‌ها پنهان می‌کنند و می‌روند و وقتی برمی‌گردند که سپاهِ مورچه‌ها از آن محل دور شده باشند.

بعد از رفتن مورچه‌ها، حتی در بام‌های کاهگِلی هیچ اثری حتی از جیرجیرک،

[1] Legionary

عنکبوت و عقرب باقی نمی‌ماند. یادم هست در بچگی در آفریقا از مورچه‌های راننده بیش‌تر می‌ترسیدیم تا از شیر و تمساح. بد نیست شهرتِ ترس‌آور آن‌ها را از دیدگاه، *ادوارد او ویلسون*[۱]، معتبرترین مقام جهان در مورد مورچه و نویسنده کتاب *زیست‌شناسی اجتماعی* ببینیم:

> در پاسخ به سؤالی که بیش از هر سؤال از من درباره مورچه‌ها می‌شود چنین می‌توانم پاسخ دهم: مورچه‌های راننده وحشت جنگل نیستند. با این‌که کُلُنی مورچه‌های راننده مانند جانوری است با ۲۰ کیلوگرم وزن و ۲ میلیون دهان که یقیناً در دنیای حشرات از همه وحشت‌زاتر است، با این حال داستان‌های هراس‌آوری که درباره‌اش می‌گویند صحت ندارد. توده آن‌ها می‌تواند فقط یک متر از زمین را در هر سه ثانیه بپوشاند. نمی‌گویم انسان یا فیل، هر موش صحرایی هم می‌تواند کناری بایستد و از روی تفنن نگاهی بکند به این توده در هم آشفته، به چیزی که بیش‌تر شگفتی‌آور است تا ترس‌آور، به اوج داستان تکامل و آن‌چنان متفاوت از پستاندارن که بیش‌تر از آن را نمی‌توان تصور نمود.

من در پاناما، به عنوان یک آدم بزرگ، کناری ایستادم و نگاهی به مورچه‌های دنیای جدید، که معادل مورچه‌های راننده‌ای بودند که در بچگی در آفریقا خیلی از آن‌ها می‌ترسیدم انداختم، ساعت‌ها رژه سپاه آن‌ها ادامه داشت، بیش‌تر از این‌که از روی زمین عبور کنند از روی همدیگر رد می‌شدند، من منتظر دیدن ملکه بودم. بالاخره پیدایش شد، حضورش ترس‌آور بود. نمی‌شد بدنش را دید. فقط به صورت موجی از کارگران شوریده در حال حرکت دیده می‌شد، توپِ جوشانی از مورچه که دست‌های‌شان در هم گره خورده بود. او در جایی، در میان آن توده‌ی متلاطم کارگران بود و گرداگردش را سربازان با قیافه‌های ترساننده و چانه‌های جلو آمده فراگرفته، تک‌تک‌شان آماده کشتن و کشته شده در راه دفاع از ملکه بودند. کنجکاویِ مرا به خاطر دیدن ملکه ببخشید: با یک چوب دراز زدم به توده کارگران، سعی می‌کردم کنار

[۱] Edward O Wilsom

بروند تا ملکه را ببینم. فوراً بیست سرباز نیش درشت ماهیچه‌ای‌شان را در چوبم فرو کردند، احتمالاً برای این‌که نگذارند در بروم، و در همان حال عده‌ی بیش‌تری از چوب بالا آمدند و کاری کردند که فرار را بر قرار ترجیح دادم.

بالاخره ملکه را ندیدم ولی در میان آن توده‌ی جوشان وجود داشت، وجودی که بانک مرکزی اطلاعاتی، و مخزن اصلی DNA همه کُلُنی بود. آن سربازانِ گستاخ، آماده‌ی جانفشانی در راه ملکه بودند ولی نه به خاطر ارادتی که به او داشتند و نه به خاطر آرمان‌های وطن‌پرستانه، فقط به این دلیل ساده که مغز و آرواره‌های آن‌ها با ژنی که مُهر ملکه رویش بود ساخته شده بود. شجاعانه می‌جنگیدند زیرا وارث ژن سلسله‌ای از ملکه‌های پیشین بودند که زندگی و ژن آن‌ها را سربازانی شجاع، مثل خود این‌ها، حفظ کرده بودند. سربازانِ من از ملکه‌ی فعلی همان ژنی را گرفته بودند که آن سربازانِ قدیمی از ملکه‌های اجداد او گرفتند. سربازانِ من، حافظِ نسخه‌ی اصلی دستورالعملی بودند که آنان را به دفاع وا می‌داشت. آن‌ها حافظ دانایی اجدادشان، تابوت عهد[1] بودند. درباره این عبارت نامأنوس در فصل بعد توضیح می‌دهم.

آن وقت احساس غربت و شگفتی عجیبی داشتم. احساسی که با رگه‌هایی از هراس‌های نیمه‌فراموش‌شده آمیخته بود، اما این بار چاشنی بلوغ درک بزرگسالی را به همراه داشت، همان چیزی که من در کودکی در آفریقا کم داشتم و همه این کارها تلاشی در نزدیک شدن به آن بود، دانستن این‌که این داستانِ تکامل نه یک بار بلکه دو بار تکرار شد،ه هیجانِ مرا بیش‌تر می‌کرد. این‌ها همان مورچه‌های راننده کابوسِ شب‌های دوران بچگی من نبودند، گرچه خیلی به آن‌ها شباهت داشتند، ولی پسر عموهای دور آن‌ها در دنیای جدید بودند. این‌ها همان رفتارهای مورچه‌های راننده را به همان دلیل انجام می‌دادند. شب شده بود من می‌بایست به خانه برمی‌گشتم، دوباره شده بودم یک بچه هول خورده، اما در دنیای جدیدی که در آن شناخت و آگاهی

[1] The Ark of the Govenant صندوق حاوی احکام یهود.

ریشه‌ی ترس‌های آفریقا را از جا می‌کند، احساس خوبی داشتم.

فصل ۵

قدرت و سوابق

در بیرون همه‌جا DNA می‌بارد. در انتهای باغِ من در ساحل کانال آکسفورد، درخت بید بزرگی دانه‌های کُرک‌دارش را در هوا می‌پرکاند. باد و نسیمی نمی‌وزد، دانه‌ها در جهات مختلف از درخت دور می‌شوند. در تمام طول کانال، تا آن‌جا که دوربین من نشان می‌دهد، سطح آب از دانه‌های پنبه‌ای شناور سفید شده است، حتماً در جهات دیگر هم زمین‌های اطراف را پوشانده‌اند. درون دانه پنبه‌ای، که بیش‌ترش سلولز است، کپسول کوچکی شامل DNA، یعنی اطلاعات ژنتیکی قرار دارد. محتوای DNA بخش کوچکی از کل دانه است ولی چرا به جای این‌که بگوییم سلولز می‌بارد گفتم DNA می‌بارد؟ علت این است که بخش مهم آن همان DNA است. گرچه حجم سلولز بیش‌تر است ولی کرک آن فقط مثل چتر نجات عمل می‌کند و بعد از استفاده کنار گذاشته می‌شود. این دانه‌های پنبه‌ای در کل این ماجرا رشته‌های باریک و نرم آویخته دارند و همه درخت در خدمت یک چیز است و آن پراکندن DNA به اطراف است. البته نه هر DNAای، بلکه فقط آن نوع DNA که در آن دستورالعملِ خاصِ ساختِ درخت‌های بید رمزگذاری شده‌اند که آن درخت‌ها هم نسل جدید دانه‌های کرکدار را پخش می‌کنند. این دانه‌های کرکدار درواقع دستورالعمل ساخت خودشان را پخش می‌کنند. وجود آن‌ها حاصل انجام همین کار توسط اجدادشان است. در آن‌جا

بارانِ دستورالعمل، می‌بارد. بارانِ برنامه، بارانِ رشد درخت، بارانِ پخش کرک، بارانِ الگوریتم.[۱] این استعاره نیست، واقعیت محض است. اگر از آسمان فلاپی دیسک می‌بارید از این گویاتر نبود.

تا چند سال پیش، کسی متوجه این واقعیت ساده و آشکار نشده بود. اگر از هر زیست‌شناسی تفاوت بین چیزهای زنده و غیرزنده را می‌پرسیدید از ماده‌ای به نام پروتوپلاسم صحبت می‌کرد. پروتوپلاسم به هیچ ماده‌ی دیگر مانند نبود. زنده و در جنبش و تپنده و نبض‌دار و تحریک‌پذیر (یعنی عکس‌العمل نشان می‌داد) بود. اگر بدن جانداری را به قطعات بسیار ریز تقسیم می‌کردید، سرانجام به ذره‌های پروتوپلاسم خالص می‌رسیدید. در قرن گذشته پروفسور *چلینگر*، یکی از شخصیت‌های داستان‌های *آرتورکونان‌دویل*[۲] فکر می‌کرد که شیره نوعی تک سلولی به نام globigerina ooze که در ته دریاست، پروتوپلاسم خالص است. وقتی من دانش‌آموز بودم، بعضی از مؤلفان کتاب‌های درسی، آن‌ها که مسن‌تر بودند، همچنان راجع به پروتوپلاسم می‌نوشتند، اگر چه دیگر در آن زمان باید اطلاعات‌شان بهتر می‌بود. این روزها دیگر این کلمه را نمی‌بینید و نمی‌شنوید، کلماتی مانند فلوژیستون و اتر دیگر کاربرد ندارد. ماده‌ای که از چیزهای زنده به وجود می‌آید، حالت خاصی ندارد. چیزهای زنده، مثل همه چیزهای دیگر مجموعه‌ای از مولکول‌اند.

تنها چیزِ خاصی که دارند این است که در مقایسه با مولکولِ چیزهای غیرزنده، مولکول‌های آن‌ها با طرح بسیار پیچیده‌ای کنار هم قرار گرفته‌اند. این طرز قرار گرفتن مولکول‌ها بر اساس برنامه‌ها یا مجموعه دستورالعمل‌هایی است برای چگونگی رشد، که خودِ جانور آن را در درون خود حمل می‌کند. درست است که جانداران می‌جنبند، می‌تپند و با تحریک‌پذیری ضربان‌دار می‌شوند و گرمای «زندگی» از وجودشان ساطع است ولی همه این‌ها حاصل یک تصادف است. آن‌چه

---

[۱] رشته‌ای از دستورالعمل‌های ساده‌ی ریاضی برای انجام محاسبه‌ای خاص.

[۲] Arthur Conan Doyle

درون یک جاندار قرار دارد نه آتش است، نه نفس گرم و نه جرقه زندگی. فقط اطلاعات است، کلمات و دستورالعمل‌ها. اگر به دنبال استعاره‌ای برای آن می‌گردید، سراغ آتش و جرقه و دَم نروید و به جای این‌ها، به یک میلیارد نشانه متمایز دیجیتالی بیندیشید که در لوح‌های بلورین حک شده‌اند. اگر می‌خواهید «حیات» را درک کنید از ماده چسبناک و جوهر جنبنده و تپنده دست بردارید و به تکنولوژی اطلاعات توجه کنید. وقتی در فصل قبل به ملکه مورچه‌ها به عنوان بانک اطلاعات اشاره می‌کردم منظورم همین بود.

لازمه‌ی اصلیِ تکنولوژیِ اطلاعاتِ پیشرفته، داشتن وسیله‌ای برای نگهداری اطلاعات است که دارای جایگاه‌های متعدد حافظه باشد. و هر جایگاه حافظه باید بتواند در یکی از چند حالتِ متمایز قرار گیرد. اما این در مورد تکنولوژی اطلاعات دیجیتالی، که دنیای هوشمند امروز ما را تسخیر کرده، صادق است. نوع دیگری از تکنولوژی اطلاعات وجود دارد که براساس اطلاعات قیاسی است مانند اطلاعات موجود در صفحه گرامافون معمولی. این اطلاعات در خطوط مارپیچی درهمی ذخیره شده‌اند. روی یک «دیسک لیزری» (که اغلب «لوح فشرده» نامیده می‌شود و جای تأسف دارد، زیرا این عبارت، اطلاعاتی به ما نمی‌دهد و معمولاً مردم با گذاشتن تکیه روی بخش اول، آن را اشتباه تلفظ می‌کنند) اطلاعات، دیجیتالی است و در یک سری فرورفتگی‌های ریز ذخیره شده‌اند که هر یک به‌طور دقیق در آن‌جا هست یا نیست. هیچ حالت بینابینی وجود ندارد. این ویژگی برای تشخیص سیستم‌های دیجیتالی به کار می‌رود. عوامل اصلی باید به‌طور معین در یکی از دو حالتِ موجود قرار داشته باشند و هیچ وضعیت بینابین یا حالت میانه و وسط وجود ندارد.

تکنولوژیِ اطلاعاتِ ژن‌ها دیجیتالی است. این را *گرگور مندل* در گذشته کشف کرده، گرچه خودش آن را به این صورت بیان نکرده است. مندل نشان داده که ما آن‌چه را از پدر و مادر خود به ارث می‌بریم با هم مخلوط نمی‌کنیم. ما میراث‌مان را به صورت ذره‌های مجزا از هم دریافت می‌کنیم. هر ذره، یا به ما به ارث می‌رسد یا

نمی‌رسد. درواقع همان‌طور که *ار. ای. فیشر*[۱] یکی از بنیان‌گذاران نو-داروینیسم خاطر نشان کرده است، هر وقت که به جنسیت فکر می‌کنیم، واقعیت میراث ذره‌ای در برابرمان خودنمایی می‌کند. هم از پدر و هم از مادرمان ویژگی‌هایی به ما به ارث می‌رسد ولی هر یک از ما یا مذکریم یا مونث و دوجنسی نیستیم. هر نوزادی که متولد می‌شود تقریباً با احتمال برابر، «نر بودن» یا «ماده بودن» را به ارث می‌برد. هر بچه‌ای یکی از این دو صورت را به ارث می‌برد و آن‌ها را ترکیب نمی‌کند. حالا ما می‌دانیم که در مورد همه ذرات به ارث رسیدنی چنین وضعیتی وجود دارد، آن‌ها ترکیب نمی‌شوند، بلکه در حالی که به کُندی و زحمت راه‌شان را از میان نسل‌های متوالی باز می‌کنند، مجزا و جداگانه باقی می‌مانند. اما اثرهای ژن‌های متفاوت روی بدن، اغلب در ظاهر به شدت با هم مخلوط می‌شوند. اگر یک آدم قد بلند با یک قد کوتاه یا یک سیاه‌پوست با یک سفیدپوست ازدواج کند، بچه‌های آن‌ها اغلب چیزی بینابین هستند. ولی این فقط مخلوط شدن اثر ژن‌هاست که در ظاهر می‌بینیم و ناشی از مجموع تأثیرهای کوچک تعداد زیادی ذره است. ولی خود ذره‌ها که از یک نسل به نسل دیگر منتقل می‌شوند، جدا و مجزا باقی می‌مانند.

تمایز بین وراثت مخلوط و وراثت ذره‌ای در تاریخچه نظریه‌های تکامل از اهمیت زیاد برخوردار است. در زمان *داروین* هم (غیر از *مندل* که عزلت گزیده بود و در زمان حیاتش جدی گرفته نشد) فکر می‌کردند که آن‌چه به ارث می‌رسد در بدن مخلوط می‌شود. یک مهندس اسکاتلندی به نام *فلمینگ جنکین* خاطر نشان کرد که این واقعیتِ میراثِ مخلوط (فکر می‌کردند واقعیت دارد) باعث شده است که انتخاب طبیعی، به عنوان نظریه‌ای قابل توجیه برای تکامل، مردود شناخته شود. *ارنست مایر* تا حدی غیردوستانه می‌گوید که مقاله جنکین بر اساس همه تعصبات و سوءتفاهم‌های معمول دانشمندان علوم طبیعی تنظیم شده است. با این حال، بحث جنکین، *داروین* را بسیار ناراحت کرد. موضوع به صورت حکایت پر آب و تاب مرد

---

۱ R. A. Fisher

سفیدپوستی است که دچار کشتی شکستگی شده و به جزیره‌ای می‌رود که ساکنانش سیاه‌پوست‌اند.

هر امتیازی را که فکر می‌کنید یک سفیدپوست می‌تواند نسبت به سیاه‌پوستان داشته باشد به او بدهید، تصدیق کنید که در تلاش برای بقا، شانس او برای عمر طولانی با ارزش‌تر از رؤسای بومی است؛ با این همه، نمی‌توان انتظار داشت که بعد از گذشت تعداد معین یا نامعینی از نسل‌ها، ساکنان جزیره سفید شوند. قهرمان کشتی شکسته ما احتمالاً پادشاه می‌شود در تلاش برای بقا، سیاهان زیادی را می‌کُشد. همسران بسیار و فرزندان زیادی خواهد داشت در حالی که بسیاری از رعایای او عزب زندگی می‌کنند و می‌میرند. ویژگی‌های سفیدپوست بودن به او عمر پربرکت می‌دهد. با وجود این، نمی‌تواند طی چند نسل زنده باشد تا فرزندان رعایا را سفید کند... در نسل اول چند دوجین بچه دورگه به وجود می‌آیند که از نظر هوشی از میانگین سیاه‌پوستان بسیار بالاترند. می‌شود تصور کرد که در چند نسل تاج و تخت به دست پادشاهان کم و بیش زرد بیفتد، ولی آیا کسی می‌تواند باور کند که کل جزیره به تدریج جمعیتی سفید یا زرد داشته باشد؟ یا ساکنان جزیره آن توانایی، شجاعت، صبر، نبوغ، خویشتن‌داری و تحملی را پیدا کنند که قهرمان ما، در راه رسیدن به آن ویژگی‌ها، بسیاری از اجدادشان را از بین ببرد و این همه فرزند تولید کند؟ آیا این ویژگی‌ها، یا درواقع تلاش برای بقاست که انتخاب می‌کند؟

حواستان نرود پیشِ آن نوعِ برتریِ نژادِ سفید که مورد نظر نژادپرستان است. این چیزها در زمان جنکین و *داروین* همان‌قدر بدیهی بودند که حالا برای حقوق بشر، ارجمندی انسان و تقدس زندگی بشر غیرقابل تردید است. می‌توانیم بحث جنکین را به صورت قیاس بی‌طرفانه‌ای مطرح کنیم. اگر شما رنگ سفید و رنگ سیاه را مخلوط کنید، رنگ خاکستری به دست می‌آید. اگر دوباره رنگ خاکستری را با خاکستری ترکیب کنید، نمی‌توانید هیچ‌کدام از رنگ‌های سیاه یا سفید اولیه را پیدا کنید. دیدگاه آن‌ها که پیش از *مندل* بودند درباره وراثت بی‌شباهت به مخلوط کردن

رنگ‌ها نبود، حتی امروز هم در فرهنگ‌های مردم اغلب از وراثت به صورت «مخلوط شدن خون‌ها» صحبت می‌شود. بحث جنکین نوعی غرق شدن را نشان می‌دهد. بر اساس وراثت مخلوط، با گذشت نسل‌ها، تنوع محکوم به نابودی است. هم شکلی بیش‌تر و بیش‌تر فراگیر می‌شود و در نهایت در انواع، تنوعی باقی نمی‌ماند که با انتخاب طبیعی برگزیده شود.

گرچه این نظریه ظاهراً مورد قبول واقع شد ولی فقط مخالف انتخاب طبیعی نبود بلکه بیش‌تر با واقعیت‌های مسلم درباره خود وراثت در تضاد بود. بدیهی است که با گذشت نسل‌ها تنوع از بین نمی‌رود. شباهت مردم امروزی به یکدیگر بیش‌تر از شباهت مردم زمان پدربزرگ‌های آن‌ها به یکدیگر نیست. گوناگونی حفظ شده است. دریایی از تنوع وجود دارد که از میان آن‌ها انتخاب صورت می‌گیرد. این را *دبلیو. واین‌برگ*[۱] در سال ۱۹۰۸ از نظر ریاضی نشان داد و همین‌طور جدا از او، اعجوبه ریاضی، *جی. اچ. هاردی*[۲] هم دانشکده‌ی من، همان‌طور که در کتاب شرط‌بندی دانشگاه او (و من) ثبت شده، یک بار بر سر این‌که «فردا خورشید طلوع خواهد کرد، تا آخر عمر از یک همکار "روزی نیم پنی" برد.» ولی برای *آر. ای. فیشر* و همکارانش، بیان‌گذاران ژنتیک جدید جمعیت، این را به ارمغان آورد که پاسخ کامل به *فلمینگ جنکین* را با استفاده از نظریه ذره‌های ژنی *مندل* پیدا کنند. در آن زمان این یک وارونه‌گویی محسوب می‌شد چون در اوایل قرن بیستم، طرفداران برجسته *مندل* خود را ضدداروین می‌دانستند، *فیشر* و همکارانش نشان دادند که انتخاب داروینی معنادار است و مسئله جنکین به صورت خوشایندی حل شده است. به این صورت که آن چیزی که طی مراحل تکامل تغییر می‌کند، بسامد نسبی ذره‌های وراثتی، یا ژن‌های جداگانه است که هر کدام از آن‌ها یا در یک بدن خاص وجود دارند یا ندارند. «داروین»گرایی بعد از «فیشر» نوداروینیسم نامیده شد.

---

۱ W. Weinberg

۲ G. H. Hardy

ماهیت دیجیتالی آن پدیده‌ای نیست که به‌طور تصادفی مطابق با تکنولوژی اطلاعات ژنی باشد. دیجیتالی بودن احتمالاً پیش شرطی لازم برای کارآمد بودن خود داروینیسم است.

در تکنولوژی الکترونیکی ما، جایگاه‌های دیجیتالی فقط دو وضعیت می‌توانند داشته باشند که به صورت قراردادی به عنوان حالت‌های صفر و یک بیان می‌شوند. گرچه می‌شود آن‌ها را به صورت حالت‌های بالا و پایین، یا روشن و خاموش، یا پَست و بلند نیز در نظر گرفت. مهم است که آن دو حالت از یکدیگر متمایز شوند و الگوی حالات آن‌ها طوری خوانش شود که بتواند تأثیر روی چیزی داشته باشد. تکنولوژی الکترونیکی از وسایل الکترونیکی مختلفی برای ذخیره کردن صفرها و یک‌ها استفاده می‌کند. این وسایل چیزهایی مانند لوح مغناطیسی، نوار مغناطیسی، کارت و نوارهای سوراخ شده و ریزپردازنده‌ها (Integrated chips) هستند که درونشان تعداد زیادی واحدهای کوچک نیمه‌هادی وجود دارند.

عامل اصلی ذخیره‌سازی، در درون دانه‌های درخت بید، مورچه و هر سلول زنده دیگر شیمیایی است نه الکترونیکی، و از این امر که بعضی از انواع مولکول‌ها می‌توانند «پلیمریزه» شوند استفاده می‌کند. «پلیمریزه شدن» یعنی به هم پیوستن در طول یک رشته با درازی نامحدود. انواع مختلف پلیمرها مثلاً «پلی‌اتیلن» از زنجیره طولانی مولکول‌های کوچکی به نام اتیلن – اتیلن پلیمریزه شده ساخته شده. نشاسته و سلولز، قند پلیمریزه شده‌اند. بعضی پلیمرها به جای این‌که مانند اتیلن زنجیره‌های یکنواختی از یک نوع مولکول کوچک باشند، زنجیره‌هایی متشکل از دو یا چند نوع مولکول کوچک مختلف‌اند. وقتی در زنجیره پلیمر چنین ناهمگونی وجود داشته باشد، تکنولوژی اطلاعات یک امکان نظری می‌شود. اگر دو نوع مولکول در یک رشته باشد، می‌توان آن‌ها را به ترتیب صفر و یک در نظر گرفت و هر نوع اطلاعات مربوط به آن را ذخیره نمود، البته در صورتی که زنجیره به اندازه کافی دراز باشد. پلیمرهای خاصی که در سلول‌های زنده مورد استفاده‌اند، پلی‌نوکلئوتید نام دارند. در

سلول‌های زنده، دو خانواده اصلی پلی‌نوکلئوتید وجود دارند که به اختصار DNA و RNA نامیده می‌شوند. هر دوی این‌ها زنجیره‌هایی ساخته شده از مولکول‌های کوچکی به نام «نوکلئوتید» هستند. هم DNA و هم RNA زنجیره‌هایی ناهمگون‌اند و از چهار نوع «نوکلئوتید» متفاوت ساخته شده‌اند. و در این‌جاست که امکان ذخیره کردن اطلاعات فراهم می‌شود. تکنولوژی اطلاعات سلول‌های زنده به جای دو حالت صفر و یک از چهار حالت استفاده می‌کند که به‌طور قراردادی می‌توانیم آن‌ها را A,T,C,G بنامیم[۱]. درواقع بین اصول تکنولوژی اطلاعات دو حالته ما و تکنولوژی اطلاعات چهار حالته سلول‌های زنده تفاوت چندانی وجود ندارد.

چنان‌که در پایان فصل اول گفتم، در هر سلول بدن انسان این ظرفیت وجود دارد که سه یا چهار بار همه سی جلد *دایرةالمعارف بریتانیکا* ذخیره شود. نمی‌دانم این رقم برای دانه درخت بید یا مورچه چقدر است، یقیناً چیزی همان‌قدر سرگیجه‌آور است. ظرفیت ذخیره‌سازی DNAی یک گل سوسن یا یک اسپرم سمندر آن‌قدر هست که بشود ۶۰ بار *دایرةالمعارف بریتانیکا* را در آن‌جا داد. بعضی از انواع آمیب‌ها که ناعادلانه آمیب‌های ابتدایی نامیده می‌شوند ظرفیت هزار بار ذخیره کردن *دایرةالمعارف بریتانیکا* را دارند.

تعجب‌آور این است که فقط یک درصد اطلاعات ژنتیکی درون سلول انسان عملاً مورد استفاده واقع می‌شود، کمابیش چیزی معادل یک جلد از *دایرةالمعارف بریتانیکا*. کسی نمی‌داند حکمت وجود آن ۹۹ درصد دیگر چیست؟ در کتابی قبل از این پیشنهادم این بود که ممکن است آن ۹۹ درصد انگل این یک درصد باشند و از آن استفاده کنند. این نظریه اخیراً با نام «DNA خودخواه» مورد توجه زیست‌شناسان مولکولی قرار گرفته است. گنجایش اطلاعاتِ باکتری با ضریبی حدود یک هزار کمتر از انسان است، ولی از همه آن گنجایش استفاده می‌کند و جایی برای انگل باقی نمی‌ماند. در DNAی آن فقط یک نسخه از عهد جدید (New Testement) جا

[۱] برای اطلاعات بیش‌تر به کتاب *به ژنوم خوش آمدید* از همین مجموعه مراجعه کنید. ناشر

می‌شود.

امروزه مهندسان ژنتیک تکنولوژی لازم برای نوشتن عهد جدید یا هر چیز دیگر روی DNAی یک باکتری را در اختیار دارند. مفهوم نشانه‌ها در همه تکنولوژی اطلاعات دلبخواهی است و می‌شود آن‌ها را به صورت ترکیبی هم به کار برد، مثلاً به صورت سه‌تایی، چه از ۴ حرف الفبای ژنتیک چه از ۲۶ حرف زبان خودمان باشد. (برای همه حروف ریز و درشت و دوازده نشانه نقطه‌گذاری هم جا وجود دارد). متأسفانه نوشتن عهد جدید روی یک باکتری حدود پنج قرن طول می‌کشد بنابراین بعید می‌دانم کسی این زحمت را به خودش بدهد. اگر کسی این کار را می‌کرد، با توجه به سرعت تکثیر باکتری، روزی ده میلیون نسخه از آن کتاب تولید می‌شد که آرزوی دست‌نیافتنی مبلغان مذهبی است، البته اگر مردم بتوانند الفبای DNA را بخوانند. اما متأسفانه حروفِ آن‌ها آن‌قدر ریزند که همه ۱۰ میلیون نسخه عهد جدید در یک سر سنجاق جا می‌شود.

حافظه الکترونیکی کامپیوتر به‌طور قراردادی به ROM و RAM تقسیم شده است. ROM به معنی «فقط خواندنی» است. دقیق‌تر بگوییم یعنی «یکبار نویس، چند بار بخوان». الگوی صفرها و یک‌ها یکبار و برای همیشه در ساخت آن «حک» می‌شود. بنابراین در تمام عمر آن حافظه در آن‌جا باقی می‌ماند و اطلاعات آن را هر چند بار که لازم باشد می‌توان خواند. نوع دیگر حافظه الکترونیکی «یعنی RAM» به مفهوم «نوشتنی و خواندنی» است (آدم به این اصطلاحات بی‌مزه در واژگان کامپیوتر زود عادت می‌کند). بنابراین RAM همه‌ی کارهای ROM را به علاوه چیزی بیش‌تر، انجام می‌دهد. درباره این‌که حروف RAM چه چیزی را نشان می‌دهند صحبتی نمی‌کنم چون بیش‌تر آدم را گیج می‌کند. در مورد RAM این را باید بدانید که می‌شود یک‌ها و صفرها را، به هر صورت در هر قسمتِ آن، که بخواهید قرار دهید. بیش‌تر حافظه کامپیوتر RAM است. همین‌طور که من این حروف را می‌نویسم آن‌ها وارد RAM می‌شوند و برنامه‌های واژه‌پرداز هم که برای کنترل متن به کار می‌روند در

RAM هستند، گرچه براساس اصول نظری می‌شود آن‌ها را در ROM گذاشت و دیگر تغییرشان نداد. ROM برای برنامه‌های استاندارد و ثابتی به کار می‌رود که بارها مورد استفاده قرار می‌گیرند و اگر هم بخواهید نمی‌توانید تغییرشان دهید.

DNA ، ROM است. یک بار نوشته می‌شود و میلیون‌ها بار خوانده می‌شود. آن یکبار نوشتن هم هنگام تولد سلول است که داده‌ها در آن حک می‌شوند. DNAیی که وارد سلول یک نفر می‌شود تا آخر عمرِ او تغییر نمی‌کند، مگر در موارد نادری از اشکالات اتفاقی. اما می‌شود از آن نسخه‌برداری کرد و با تقسیم شدن سلول دو برابر می‌شود. الگوی نوکلئوتیدهای A ، C، T و G در DNA هر یک از تریلیون‌ها سلول جدیدی که با رشد نوزاد تولید می‌شوند با امانت تکثیر می‌شود. وقتی شخص جدیدی متولد می‌شود، الگوی جدید و منحصر به فردی از اطلاعات در ROM – DNAی او حک می‌شود و او با آن الگو تا آخر عمر سر می‌کند. این الگو در تمام سلول‌های بدن او نسخه‌برداری می‌شود (جز در سلول‌های تولید مثل، چنان‌که خواهیم دید در آن نیمی از DNA، به‌طور تصادفی، حک می‌شود).

همه‌ی حافظه کامپیوتر، چه ROM باشد چه RAM، دارای نشان است. یعنی جای هر چیز در حافظه با یک عنوان، معمولاً با یک عدد، مشخص است و این یک قرارداد دلبخواه است. مهم این است که تمایز آن آدرس و محتوای آن جایگاه حافظه را درک کنیم. هر جا را با نشانی آن می‌شناسیم. مثلاً جای اولین دو حرف این فصل، «در»،[1] در این لحظه در جایگاه RAM کامپیوتر من، که در کل ۶۵۵۳۶ جا دارد، شماره‌های ۶۴۴۶ و ۶۴۴۷ است. در وقت دیگر، محتوای این دو جایگاه چیز دیگری است. محتوای هر جایگاه چیزی است که آخر از همه در آن آمده است. هر جایگاه ROM هم آدرس و محتوای خودش را دارد. تفاوتش این است که هر چه یک بار در یک جایگاه بیاید برای همیشه همان‌جا خواهد ماند.

[1] در متن اصلی این فصل با واژه‌ی «It» شروع می‌شود.

DNA در امتداد کروموزوم‌های رشته‌ای، که مانند نوار دراز کامپیوتراند، قرار دارد. در همه سلول‌های ما هم DNAها، مانند ROM یا درواقع نوار کامپیوتر، نشانی دارند. تعداد دقیق شماره‌های اسم‌هایی که ما برای برچسب زدن به نشانی‌ها به کار می‌بریم دلبخواه است، مثل حافظه کامپیوتر. مهم این است که یک جایگاه خاص در DNAی من به آن جایگاه خاص در DNAی شما مربوط باشد. آدرس آن‌ها یکی است. ولی محتوای آن جایگاه‌ها می‌تواند متفاوت باشد. مثلاً محتوای جایگاه DNAی شماره ۳۲۱۷۶۲ من با محتوای جایگاه DNAی ۳۲۱۷۶۲ شما ممکن است یکسان باشد یا نباشد. اما از نظر جایگاه ۳۲۱۷۶۲ دقیقاً همان موقعیت را در سلول من دارد که جایگاه ۳۲۱۷۶۲ شما در سلول شما دارد. کلمه «موقعیت» در این‌جا به مفهوم موقعیت در امتداد یک کروموزوم خاص است. جای دقیق یک کروموزوم در سلول اهمیت خاصی ندارد. درواقع کروموزوم در مایع درون سلول شناور است و جای ثابتی ندارد، اما هر جایگاه در امتداد کروموزوم دقیقاً، با توجه به نظم خطی آن دارای نشانی مشخص است. درست همان‌طور که روی نوار کامپیوتر هر جایگاه نشانی مشخص دارد، حتی وقتی‌که آن نوار، به جای این‌که مرتب سرجایش باشد، ولو شده باشد. همه ما انسان‌ها، از نظر نشانی‌های DNA مانند هم هستیم یعنی مجموعه یکسانی از نشانی‌های DNA داریم ولی الزاماً محتوای آن‌ها یکسان نیست. و این علت اصلی تفاوت ما با یکدیگر است.

در گونه‌های دیگر، مجموعه نشانی‌ها مانند ما نیست. مثلاً شمپانزه ۴۸ کروموزوم دارد در حالی که ما ۴۶ تا داریم. به عبارتی، نمی‌توان محتوای آدرس‌های مشترک را در دو گونه‌ی متفاوت با هم مقایسه کرد زیرا در گونه‌های متفاوت، نشانی‌ها با هم فرق دارند. اما در گونه‌های بسیار نزدیک به یکدیگر، مثل انسان و شمپانزه، چنان بخش‌های بزرگی از محتواهای مجاور هم در آن‌ها مانند هم است که به راحتی می‌توان آن‌ها را یکسان به شمار آورد، با وجود این برای این دو از دو سیستم نشانی‌گذاری کاملاً یکسان استفاده نمی‌کنیم. آن چیزی که یک نوع گونه را از بقیه

متمایز می‌کند این است که همه اعضای آن، سیستم نشانی‌گذاری DNAشان یکسان است. به جز چند مورد جزئی استثنا، تعداد کروموزوم‌های همه اعضاء یکسان است و در طول کروموزوم عدد مقابل هر جایگاه درست همان است که در طول کروموزوم مربوطه در عضوهای دیگرِ آن گونه است. چیزی که در میان اعضای یک گونه ممکن است متفاوت باشد محتوای جایگاه‌هاست.

تفاوت محتواها در افراد مختلف به صورتی که در زیر می‌آید پیدا می‌شود و من در این‌جا تأکید می‌کنم که در مورد گونه‌هایی صحبت می‌کنم که مثل ما تولید مثل‌شان جنسی است. اسپرم یا تخمک‌های ما هر کدام ۲۳ کروموزوم دارد. هر جایگاه نشانی خاصی دارد. هر جایگاه در یکی از اسپرم‌های من، به جایگاهی خاص در دیگر اسپرم‌های من و همچنین به جایگاه خاصی در هر یک از تخمک (یا اسپرم)های شما مربوط است. بقیه سلول‌های من شامل ۴۶ کروموزوم‌اند. یک مجموعه دوتایی. نشانی یکسانی دوبار در هر یک از سلول‌ها تکرار می‌شود. هر سلولی در امتداد کروموزوم شماره ۹، دو کروموزوم ۹ و دو جایگاه شماره ۷۲۳۰ دارد. محتوای این دو ممکن است یکسان باشند یا نباشند. درست همان‌طور که ممکن است آن محتواها در اعضای یک گونه مانند هم باشند یا نباشند. وقتی از یک سلول بدن که ۴۶ کروموزوم دارد، اسپرم با ۲۳ کروموزوم ساخته می‌شود، این اسپرم‌ها فقط یکی از آن دو سری نسخه موجود در آن جایگاه نشانی‌دار را می‌گیرد. این‌که کدام را بگیرد، شانسی است. در مورد تخمک هم همین‌طور است. در نتیجه، هر تخمک یا اسپرم تولید شده از نظر جایگاه‌شان منحصر به فردند، گرچه سیستم نشانه‌گذاری در همه افراد یک گونه (غیر از استثناهای جزئی که مهم نیست) مانند هم است. وقتی یک اسپرم، تخمکی را بارور می‌کند، یک دست کروموزوم کامل ۴۶تایی ساخته می‌شود و آن ۴۶تایی در همه سلول‌های آن جنین در حال رشد تکثیر می‌شوند.

گفتم نمی‌شود روی ROM چیزی نوشت غیر از آن‌چه در ساخت اولیه آن آمده است، در مورد DNAی سلول هم همین‌طور است، مگر گاهی که در نسخه‌برداری

اشتباهی اتفاقی پیش آید. اما به نحوی می‌توان روی آن بانک اطلاعات جمعی، شامل کل ROMهای یک گونه را نوشت. با گذشت نسل‌ها، بقای ادامه‌دار و موفقیت در تولید مثلِ افرادِ یک گونه، دستورالعمل‌های پیشرفته‌ای را برای بقا در حافظه ژنی آن‌گونه ثبت می‌کند. با گذشت نسل‌ها، تغییرات تکاملی در هر گونه تا حد زیادی شامل تغییراتی در تعداد نسخه‌های موجود از هر یک از محتواهای احتمالی متفاوت، در هر جایگاه نشانی‌دار DNA، است. البته در هر زمان خاصی، همه نسخه‌ها باید درون بدن شخص باشند. اما آن‌چه در تکامل اهمیت دارد تغییر در بسامد محتواهای احتمالی دیگر در هر نشانی در آن جمعیت است. با گذشت قرن‌ها، نظام نشانه‌گذاری عوض نمی‌شود. ولی پرونده آماریِ محتواهایِ جایگاه‌ها تغییر می‌کند.

خودِ سیستمِ نشانه‌گذاری به‌ندرت تغییر می‌کند. شمپانزه‌ها ۲۴ جفت کروموزوم دارند و ما انسان‌ها ۲۳ جفت. ما با آن‌ها اجداد مشترک داریم. باید در جایی در اجداد ما، یا در اجداد آن‌ها در تعداد کروموزوم تغییر رخ داده باشد. یا ما یک کروموزوم از دست داده‌ایم (دو تا ادغام شده‌اند) یا به شمپانزه‌ها یکی اضافه شده (یکی به دو قسمت تقسیم شده) است. حداقل یک فرد باید وجود داشته باشد که تعداد کروموزوم‌هایش با والدینش یکی نباشد. در کلِ نظام ژنی، تغییراتِ اتفاقیِ دیگر هم وجود دارد. چنان‌که خواهیم دید، گاهی ممکن است همه‌ی رمزهای یک رشته روی کروموزوم دیگری نسخه‌برداری شود. ما این را می‌دانیم زیرا رشته‌های درازی از متن DNA را که مانند هم هستند در اطراف کروموزوم‌ها پراکنده می‌بینیم.

وقتی اطلاعات مربوط به جایگاه خاصی از درون حافظه کامپیوتر خوانده می‌شود یکی از این دو حالت ممکن است رخ دهد. یا آن اطلاعات در جای دیگر نوشته می‌شوند. یا وارد یک سری عملیات می‌گردند. اگر جای دیگری نوشته شوند، یعنی نسخه‌برداری شده است. ما قبلاً دیدیم که DNA از یک سلول به سلول دیگر نسخه‌برداری می‌شود و مجموعه‌ای از DNA ممکن است از یک شخص در شخص

دیگر، مثلاً فرزندش، نسخه‌برداری شود. حالت دیگر یعنی انجام عملیات پیچیده‌تر است. در کامپیوتر، اجرای دستورالعمل‌های برنامه نوعی عملیات است. در ROM کامپیوتر من، محتوای جایگاه‌های شماره ۶۴۴۸۹، ۶۴۴۹۰، ۶۴۴۹۱ الگوی خاص از صفرها و یک‌ها دارند که وقتی به صورت دستورالعمل تفسیر می‌شود از بلندگوی کوچک کامپیوتر صدای «بلیپ» مانندی بیرون می‌آید. الگوی آن به صورت ۱۰۱۰۱۱۰۱۰۰۱۱۰۰۰۰۱۱۰۰۰۰۰۰ است. در الگوی آن چیزی که ذاتاً به صدای «بلیپ» مربوط باشد وجود ندارد. این الگو چیزی ندارد که نشان دهد چنین اثری روی بلندگو خواهد داشت. این اثر به وجود می‌آید زیرا قسمت‌های دیگر کامپیوتر تجهیزات لازم برای این کار را دارد. به همین صورت، الگوهای چهار حرفی رمز DNA هم تأثیرهایی دارند. مثلاً روی رنگ چشم، یا طرز رفتار ولی این تأثیرها ذاتی خود الگوی اطلاعات DNA نیستند. بلکه در نتیجه طرز رشد قسمت‌های دیگر جنین به وجود می‌آیند، که رشد جنین نیز خود تحت تأثیر الگوهای قسمت‌های دیگر DNA است. این تعامل بین ژن‌ها موضوع اصلی فصل ۷ خواهد بود.

قبل از این‌که نشانه‌های رمز DNA وارد هرگونه عملیاتی شوند، باید به صورت دیگری در آیند یا به عبارتی، ترجمه شوند. آن‌ها اول دقیقاً تبدیل به نشانه‌های RNA معادل خود می‌شوند. RNA هم الفبای چهار حرفی دارد. از این‌جا به صورت نوع متفاوتی به نام پلی‌پپتید یا پروتئین در می‌آیند. می‌شود آن‌ها را پلی‌امینو اسید نامید زیرا واحدهای اصلی آن‌ها اسیدهای امینه هستند. در سلول‌های زنده بیست نوع اسید امینه وجود دارد. همه پروتئین‌های مربوط به جاندارن، زنجیره‌هایی هستند که از این ۲۰ واحد اصلی ساخته شده‌اند. گرچه پروتئین‌ها زنجیره‌ای از اسید امینه هستند ولی بیش‌تر آن‌ها به صورت رشته دراز باقی نمی‌مانند. هر رشته به صورت یک گره جمع می‌شود، چگونگی قرار گرفتن اسیدهای امینه شکل آن را تعیین می‌کند. نشانه‌های رمزی که در طول DNA هستند طرز قرار گرفتن و ترتیب دقیق اسیدهای امینه را تعیین می‌کند (از طریق RNA که نقش واسطه را دارد). پس

بنابراین ترتیب یک بعدی نشانه‌ها در DNA، شکل سه بُعدی مارپیچی پروتئین را تعیین می‌کند.

فرایند ترجمه به آن رمز ژنتیکی سه حرفی مورد نظر صورت خارجی می‌دهد. این فرهنگ لغتی است که در آن هر یک از ۶۴(۴×۴×۴) نشانه سه‌تایی ممکن DNA (یا RNA) به صورت یکی از ۲۰ اسید امینه یا به نشانه stop reading (دیگر نخوانید) ترجمه می‌شود. سه نشانه نقطه‌گذاری «دیگر نخوانید» وجود دارد. بسیاری از اسیدهای امینه با بیش از یک سه‌تایی رمزگذاری می‌شوند. (احتمالاً خودتان این را حدس زده‌اید زیرا با این‌که فقط ۲۰ اسید امینه وجود دارد تعداد سه‌تایی‌ها ۶۴تاست). کل این ترجمه، از ترتیب دقیق DNA در ROM تا شکل ثابت و سه بُعدی پروتئین، همه شاهکار بی‌بدیل تکنولوژی اطلاعات دیجیتالی است. گام‌های بعدی که مربوط به اثر ژن‌ها روی بدن است کمتر به کارهای کامپیوتری شباهت دارند.

هر سلول زنده، حتی یک باکتری را می‌شود یک کارخانه عظیم مواد شیمیایی در نظر گرفت. الگوهای DNA یا ژن‌ها با تأثیر گذاشتن بر فرایند رویدادهای آن کارخانه‌ی شیمیایی، اثر خود را به نمایش می‌گذارند. آن‌ها این کار را از طریق تأثیرشان روی شکل سه بُعدی مولکول‌های پروتئین انجام می‌دهند. شاید واژه «عظیم» برای یک سلول اغراق‌آمیز جلوه کند، به‌خصوص وقتی‌که به یاد می‌آوریم که تعداد ده میلیون باکتری در سر یک سنجاق ته گرد جای می‌گیرند. از طرفی نباید فراموش کنیم که هر یک از این سلول‌ها گنجایش نگهداری کل متن کتاب عهد جدید را دارد، به علاوه وقتی آن را با معیار تعداد دستگاه‌های دقیق موجود در آن بسنجیم، واقعاً عظیم است. هر دستگاه یک مولکول بزرگ پروتئین است که تحت تأثیر گستره خاصی از DNA قرار دارد. مولکول‌های پروتئین، که آنزیم نامیده می‌شوند، چون هر کدام باعث انجام یک واکنش شیمیایی می‌گردد، به صورت دستگاه یا ماشین در نظر گرفته می‌شود. هر دستگاه، پروتئین محصول شیمیایی خاص خودش را تولید می‌کند.

و برای انجام این کار از مواد خام درون سلول، که احتمالاً محصول تولید شده توسط ماشین دیگری هستند، استفاده می‌کند. برای این‌که از اندازه این ماشین‌های پروتئین تصوری داشته باشید، هر کدام از ۶۰۰۰ اتم ساخته شده‌اند که با معیار مولکولی بسیار بزرگند. حدود یک میلیون از این دستگاه‌های بزرگ و بیش از ۲۰۰۰ نوع متفاوت از هر کدام آن‌ها در هر کارخانه مواد شیمیایی، یعنی سلول، وجود دارد. هر کدام از این ۲۰۰۰ نوع به انجام عمل خاصی در آن کارخانه اختصاص دارد. صفت مشخصه محصولات شیمیایی چنین آنزیم‌هایی این است که به سلول شکل و رفتار خاصی می‌دهند.

چون همه سلول‌های بدن ژن‌های یکسان دارند، شاید تعجب کنید چرا همه آن‌ها مانند هم نیستند. دلیل آن این است که در انواع متفاوت سلول‌ها، زیرمجموعه‌های متفاوتی از ژن‌ها فعال می‌شوند و بقیه غیرفعال باقی می‌مانند. در سلول‌های کبد، آن بخش‌هایی از DNAی ROM که به‌طور اختصاصی به سلول‌های کلیه مربوطه‌اند، فعال نمی‌شوند و بالعکس. شکل و رفتار هر سلول به این‌که کدام یک از ژن‌های درون آن فعال شود و به محصول پروتئین ترجمه گردد بستگی دارد. این هم به نوبه خود بسته به مواد شیمیایی موجود در سلول است که آن هم تا حدی به این‌که کدام ژن‌ها در آن سلول فعال شده و تا حدی به سلول‌های مجاور بستگی دارد. وقتی یک سلول به دو سلول تقسیم می‌شود لزومی ندارد که آن دو سلول کاملاً مانند هم باشند. مثلاً در تخمک‌های اصلی بارور شده، بعضی از مواد شیمیایی در یک انتهای سلول جمع می‌شوند و بعضی در سر دیگر آن. وقتی چنین سلولِ قطبی شده‌ای تقسیم شود، دو سلول حاصل، مواد شیمیایی متفاوتی دارند. یا به عبارتی، در این دو سلول ژن‌های متفاوتی فعال می‌شوند و یک نوع انشعاب برای تقویت خود صورت می‌دهند. شکل نهایی کل بدن، اندازه اعضای آن، تجهیزات مغز آن و تنظیم الگوی رفتار، همه بازتاب‌های تعامل بین سلول‌های مختلف است، که تفاوت آن‌ها هم به نوبه خود حاصل فعال شدن ژن‌های متفاوت است. این فرایندهای انشعاب را

بیش‌تر خود مختار و حوزه‌ای، مانند جریان تکرارپذیری فصل ۳ در نظر می‌گیرند تا امری که در هماهنگی با یک طرح بزرگ مرکزی رخ داده باشد.

واژه «کنش» در این فصل به مفهوم آن چیزی به کار رفته که متخصص ژنتیک از آن با عنوان اثر فنوتیپ ژن یاد می‌کند. DNA اثراتی روی بدن، رنگ چشم، پیچ و تاب مو، شدت تهاجم در رفتار و هزاران ویژگی دیگر دارد که همه اثر فنوتیپی نامیده می‌شوند. ابتدا این اثرهای DNA به صورت حوزه‌ای آشکار می‌شود، بعد از این‌که به وسیله RNA خوانده و تبدیل به زنجیره پروتئین شد، آن وقت بر شکل و رفتار سلول تأثیر می‌گذارد. این یکی از دو روش خوانش اطلاعات الگوی DNA است. روش دیگر دو برابر شدن به صورت رشته DNA جدید است. این همان نسخه‌برداری است که قبلاً بحث شد.

بین این دو مسیر انتقال اطلاعات DNA یک تمایز اساسی وجود دارد، انتقال عمودی و انتقال افقی. در سلول‌هایی که (سلول‌های دیگر را می‌سازند) اسپرم یا تخمک می‌سازند انتقال اطلاعات DNA عمودی است. به این ترتیب به صورت عمودی به نسل دیگر منتقل شده و یار دیگر به دفعات نامعین در نسل‌های بعدی به صورت عمودی انتقال می‌یابد. من نام این را DNA آرشیوی گذاشته‌ام. چیزی که بالقوه نامیراست. توالی سلول‌ها، که DNA آرشیوی در امتداد آن حرکت می‌کند، خط زایشی نام دارد. خط زایشی آن مجموعه از سلول‌های درون یک بدن است که جد تخمک و اسپرم و بنابراین جد نسل‌های آینده است. DNA به طریق جانبی یا افقی هم منتقل می‌شود. DNAی سلول‌های غیرخط زایشی، مثل سلول کبد یا سلول پوست، در درون سلول به RNA و از آن‌جا به پروتئین تبدیل شده و با گذاشتن تأثیرات مختلف روی رشد جنین و در نتیجه روی رفتار و شکل جاندارِ بالغ ظاهر می‌شوند. می‌توانید انتقال افقی و عمودی را در ارتباط با آن دو برنامه‌ی کوچک فصل ۳، رشد و تکثیر در نظر بگیرید.

کل انتخاب طبیعی مربوط به برتری DNA رقیب در انتقالِ عمودیِ خود به آرشیوِ گونه‌ها است. DNA رقیب یعنی محتوای متفاوت یک جایگاه خاص در کروموزوم آن گونه. بعضی ژن‌ها موفق‌تر از ژن‌های رقیب در باقی ماندن در آرشیوها عمل می‌کنند. گرچه معنی موفقیت در نهایت انتقال عمودی در امتداد آرشیو یک گونه است ولی معیار موفقیت معمولاً تأثیر آن ژن‌ها بر بدن از طریق انتقال جانبی است. این هم درست مانند مدل کامپیوتری بیومورف است. فرض کنید در یک ببر ژن خاصی وجود دارد که با تأثیر جانبی در سلول‌های آرواره باعث می‌شود که دندان‌های این جانور کمی تیزتر نسبت به ببرهایی که تحت تأثیر ژن رقیب آن واقع شده‌اند، باشند. ببری که دندان تیزتری دارد، بهتر از یک ببر معمولی، می‌تواند طعمه‌اش را بکُشد، بنابراین فرزندان بیش‌تری خواهد داشت و در این صورت ژن‌های بیش‌تری را به صورت عمودی منتقل می‌کند و نسخه‌های بیش‌تری از ژنی که دندان تیز می‌سازد تولید می‌شود. این حیوان هم‌زمان با این ژن، ژن‌های دیگر را هم منتقل می‌کند ولی فقط ژن تیزی دندان، به‌طور میانگین، در بدن همه ببرهای تیزدندان وجود خواهد داشت. خود ژن با این انتقال عمودی از میانگین تأثیری که بر یک سری بدن‌ها خواهد داشت سودی می‌برد.

عمل‌کرد DNA به عنوان یک وسیله بایگانی، حیرت‌آور است. از نظر قابلیت حفظ یک پیام از لوح سنگی بهتر است. گاو و بوته نخود (و درواقع همه ما) ژن تقریباً مشابهی به نام ژن هیستون[1] H4 داریم که متن DNAی آن شامل ۳۰۶ نشانه است. نمی‌شود گفت که این ژن، در تمامی گونه‌ها در نشانی یکسانی قرار دارد زیرا عنوان آدرس‌ها در گونه‌های متفاوت قابل مقایسه نیست. ولی می‌توان گفت که در گاو رشته‌ای شامل ۳۰۶ نشانه وجود دارد که عملاً مشابه یک رشته ۳۰۶ نشانه‌ای در بوته نخود است. گاو و نخود فقط در دو تا از آن ۳۰۶ نشانه با یکدیگر تفاوت دارند.

[1] گروهی از پروتئین‌ها که اغلب به حالت ترکیب با اسید نوکلئیک دیده شده و در گویچه‌های سرخ و غده تیموس جانوران یافت می‌شود. در گیاهان وجود ندارد.

ما نمی‌دانیم که اجداد مشترک نخود و گاو دقیقاً چه مدت پیش از این می‌زیستند، اما شواهد فسیلی حاکی از آن است که باید زمانی بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میلیون سال پیش از این باشد. حال اگر آن‌ها را ۱/۵ میلیون سال پیش در نظر بگیریم، طی این زمان طولانیِ غیرقابلِ تصور (برای انسان‌ها) دودمان هر یک از این دو شاخه‌ای که از آن جد مشترک جدا شده ۳۰۵ تا از ۳۰۶ نشانه خود را حفظ کرده است (به‌طور متوسط چنین است، می‌تواند این‌طور باشد که یکی همه ۳۰۶ تا و دیگری ۳۰۴ تا را حفظ کرده باشد). نوشته‌های روی سنگ بعد از گذشت چند صد سال دیگر قابل خواندن نیستند.

حفظ شدن اسناد DNA «هیستون H4» از نظر دیگری هم تعجب‌آور است زیرا بر خلاف لوح سنگی، ساختار فیزیکی واحدی نیست که دوام آورده و متن را حفظ کرده باشد. با گذشت نسل‌ها، به‌طور مکرر نسخه‌برداری شده است مانند متون مقدس عبری که طبق سنت هر هشتاد سال یک بار دوباره نوشته می‌شوند که از آسیب زمان و فرسودگی حفظ شوند. به راحتی نمی‌شود تخمین زد در دو شاخه‌ای که از آن جد مشترک جدا شده و به گاو و نخود رسیده‌اند، چند بار اسناد «هیستون H4» نسخه‌برداری شده‌اند ولی شاید حدود ۲۰ میلیون بار شود. همچنین یافتن مقیاسی که با آن بتوانیم حفظ بیش از ۹۹ درصد اطلاعات را در ۲۰ میلیارد نسخه متوالی مقایسه کنیم نیز آسان نیست. می‌توانیم با بازی پچ‌پچ مادربزرگ‌ها امتحانش کنیم. فرض کنید بیست میلیارد تایپیست، ردیف کنار هم نشسته‌اند. طول صف این تایپیست‌ها ۵۰۰ بار کره زمین را دور می‌زند. تایپیست اول یک سند یک صفحه‌ای را می‌نویسد و به پهلویی‌اش می‌دهد. او هم از روی آن نوشته و نسخه‌اش را به بعدی می‌دهد. او هم از روی آن می‌نویسد و به بعدی می‌دهد، همین‌طور تا آخر. سرانجام پیام به دست آخرین نفر می‌رسد و ما آن را می‌خوانیم (شاید دوازده هزارمین فرزندزاده ما این کار را می‌کند، با فرض بر این‌که همه تایپیست‌ها از سرعت یک منشی خوب برخوردارند). نسخه نهایی تا چه حد امانت پیام اصلی را در بر دارد؟

برای پاسخ دادن به این سؤال باید در مورد دقت آن تایپیست‌ها نظر بدهیم. سؤال را طور دیگر مطرح کنیم. هر تایپیست باید چقدر ماهر باشد که عمل‌کردش متناسب با عمل‌کرد DNA باشد؟ پاسخ این سؤال خنده‌دارتر از آن است که بشود بیان کرد. چون برای چنین حالتی اشتباه هر تایپیست باید یک در تریلیون باشد، یعنی آن‌قدر که اگر کتاب مقدس را ۲۵۰,۰۰۰ بار پشت سر هم بنویسد فقط یک اشتباه کند. در دنیای واقعی یک منشی خوب در هر صفحه یک اشتباه دارد که حدوداً می‌شود نیم میلیارد برابر میزان خطای ژن «هیستون H4». در صف ۲۰ میلیاردیِ منشی‌های واقعی، وقتی متن به نفر بیستم برسد امانت آن به نود ونه درصد تنزل می‌کند. وقتی به ده هزارمین نفر برسد کم‌تر از یک درصد از متن اصلی باقی می‌ماند. به این ترتیب قبل از این‌که ۹۹/۹۹۹۵ درصد تایپیست‌ها آن را دیده باشند متن به این درجه از تنزل می‌رسد.

در این مقایسه اندکی تقلب شده ولی منظور جالب‌تر کردن و روشن کردن موضوع بود. ظاهراً این حالت ایجاد شد که میزان اشتباه نسخه‌ها را اندازه می‌گیریم. اما اسناد «هیستون H4» فقط کپی نشده بلکه در معرض انتخاب طبیعی هم واقع شده‌اند. وجود هیستون برای بقا اهمیت حیاتی دارد. از آن در مهندسی ساختار کروموزوم استفاده می‌شود. احتمالاً در نسخه‌برداری از ژن «هیستون H4» اشتباهات زیادی هم رخ داده است ولی زندگی جانورانِ جهش‌یافته ادامه نداشته یا لااقل تولید مثل نکرده‌اند. برای این‌که این قیاس عادلانه‌تر باشد باید فرض کنیم که در صندلی هر تایپیست تنفگی کار گذاشته‌اند به نحوی که اگر طرف اشتباه کند، بلافاصله او را هدف قرار می‌دهد. (خواننده‌های نازک‌دل ممکن است ترجیح دهند صندلی‌ها گردان باشد و به آرامی تایپیست خطا کار را از صف خارج کند، ولی تفنگ تصور واقعی‌تری از انتخاب طبیعی ایجاد می‌کند).

بنابراین با توجه به تغییراتی که عملاً در زمان‌های بسیار طولانی رخ داده‌اند این روش اندازه‌گیری حفظ DNA ترکیبی است از امانت در نسخه‌برداری و لحاظ اثرهای

انتخاب طبیعی. ما فقط زادگان تغییرات موفق DNA را می‌بینیم. بدیهی است آن‌ها که محکوم به فنا شده‌اند از چشم ما دور باشند. آیا می‌توان به نحوی میزان امانت‌داری واقعی این نسخه‌برداری در کره زمین را سنجید قبل از این‌که انتخاب طبیعی کارش را روی هر نسل جدید از ژن‌ها شروع کند؟ بله. این عکس آن چیزی است که میزان جهش نام دارد و قابل اندازه‌گیری است. احتمال این‌که در هر نسخه‌برداری یک حرف خاص اشتباه کپی شود، کمی بیش از یک در یک میلیارد نسخه است. تفاوت بین این‌ها، یعنی میزان جهش و میزان پایین‌تری که عملاً در ژن هیستون تغییرات تکاملی رخ می‌دهد، میزان مؤثر بودن انتخاب طبیعی را در حفظ این سند باستانی نشان می‌دهد.

طبق معیارهای ژنی، حفظ شدن ژن هیستون طی زمانی چنین طولانی استثناء است. ژن‌های دیگر با سرعت بیش‌تری تغییر می‌کنند، احتمالاً به این دلیل که انتخاب طبیعی تنوع بیش‌تری را در آن‌ها می‌پذیرد. مثلاً سرعت تکامل ژن‌هایی که پروتئینی به نام فیبرینوپپتید (Fibrinopeptides) را رمزگذاری می‌کنند، تقریباً نزدیک به سرعت جهش‌های اصلی است. این احتمالاً به این معنی است که وجود اشتباه در جزئیات این پروتئین‌ها (که در هنگام لخته شدن خون تولید می‌شوند) برای جاندار چندان اهمیتی ندارد. سرعت تغییر ژن هموگلوبین چیزی بین سرعت هیستون و سرعت «فیبرینوپپتید» است. شاید تحمل انتخاب طبیعی در پذیرش اشتباه آن در حد متوسط است. نقش هموگلوبین در خون همه است و اجزای آن هم اهمیت دارند ولی به نظر می‌رسد چند گونه متفاوت آن هم می‌توانند به خوبی از پس کار برآیند.

ما در این‌جا با چیزی روبرو هستیم که تا حدی متناقض است و باید درباره‌اش فکر کنیم. معلوم شده است مولکول‌هایی که مانند هیستون بسیار کُند تکامل می‌یابند بیش‌تر در معرض انتخاب طبیعی واقع شده‌اند. «فیبرینوپپتیدها» مولکول‌هایی هستند که از همه سریع‌تر تکامل می‌یابند چون انتخاب طبیعی تقریباً یک‌سره آن‌ها را نادیده می‌گیرد. آن‌ها این امکان را دارند که با سرعت جهش تکامل پیدا کنند.

علت این دوگانگی آن است که ما آن‌قدر روی انتخاب طبیعی تکیه می‌کنیم که آن را موتور محرک تکامل در نظر می‌گیریم. بنابراین اگر انتخاب طبیعی در کار نباشد، نباید انتظار تغییر را داشته باشیم. برعکس، هر چه فشار انتخاب شدیدتر باشد، این انتظار وجود دارد که تکامل سریع‌تر باشد. ولی به جای این‌ها می‌بینیم که انتخاب طبیعی اثر بازدارنده‌ای روی تکامل دارد. بدون اعمال انتخاب طبیعی، سرعت خطوط اصلی تکامل در بالاترین حد ممکن، چیزی برابر سرعت جهش است.

درواقع دوگانگی وجود ندارد. وقتی با دقت به موضوع نگاه کنیم می‌بینیم نمی‌تواند غیر از این باشد. تکامل که از طریق انتخاب طبیعی صورت می‌گیرد نمی‌تواند سریع‌تر از سرعت جهش باشد، زیرا جهش نهایتاً تنها راهی است که باعث ورود انواع جدید، درونِ یک گونه می‌شود. تنها کاری که انتخاب طبیعی می‌تواند انجام دهد این است که بعضی از انواع را بپذیرد و بقیه را رد کند. سرعت جهش باید بیش‌تر از سرعت تکامل باشد. درواقع، بیش‌تر موارد انتخاب طبیعی شامل پیشگیری از تغییرات تکاملی است تا پیش راندن آن. تأکید می‌کنم این‌طور نیست که انتخاب طبیعی یک فرایند کاملاً مخرب باشد. از جهاتی هم می‌تواند سازنده باشد که توضیح آن را در فصل ۷ خواهیم دید.

سرعت جهش هم نسبتاً کُند است. به عبارت دیگر، حتی بدون انتخاب طبیعی هم عمل‌کرد رمز DNA در حفظ آرشیوش بسیار حیرت‌آور است. اگر انتخاب طبیعی در کار نباشد، یک حدس محافظه‌کارانه این است که DNA آن‌قدر دقیق تکثیر می‌شود که در ۵ میلیون نسل تکثیر آن، یک درصد نشانه‌ها اشتباه خواهد بود. یعنی باز هم DNA آن تایپیست‌های بینوا را از میدان به در می‌کند. تایپیست‌ها برای این‌که از DNA کم نیاورند باید همه‌شان تمام عهد جدید را فقط با یک اشتباه تایپ کنند. یعنی، همه باید حدوداً ۴۵۰ بار دقیق‌تر از یک منشی معمولیِ دنیای واقعی باشند. البته این در مقایسه خیلی کمتر از عدد نیم میلیارد است. ژن «هیستون H4» بعد از انتخاب طبیعی، دقیق‌تر از منشی‌های معمولی است، با این حال عدد

حیرت‌آوری است.

اما من نسبت به تایپیست‌ها کم لطفی کرده‌ام. درواقع فرض را بر این نهادم که آن‌ها متوجه اشتباه خود نمی‌شوند تا آن را تصحیح کنند. فرض کردم اصلاً خواندن و غلط‌گیری وجود ندارد ولی در دنیای واقعی تایپیست‌ها می‌خوانند و اشتباه را تصحیح می‌کنند. بنابراین صف میلیاردی تایپیست‌های من نمی‌گذارند پیام اصلی به آن صورت ساده‌ای که من مجسم کردم تنزل پیدا کند. مکانیسم نسخه‌برداری DNA هم همان تصحیح اشتباه را به صورت خودکار انجام می‌دهد. اگر غیر از این بود، هرگز به آن دقت شگفت‌آوری که توصیف کرده‌ام نمی‌رسید. در فرایند نسخه‌برداری DNA بسیاری از عملیات خواندن و تصحیح کردن وجود دارد. این کار بسیار ضروری است زیرا حروف رمز DNA چیز ثابتی مثل نشانه‌های خط هیروگلیف نیستند که در سنگ حک شده باشند. آن مولکول‌ها برعکس آن‌قدر ریزند – یادتان باشد که همه آن عهد جدیدها سر سنجاق ته گرد جا می‌شوند – که مدام تحت تهاجم معمول جوش و خروش مولکول‌ها بر اثر گرما هستند. همیشه یک جابه‌جایی و تغییر مدام در حروف پیام وجود دارد. هر روز در هر سلول بدن انسان حدود ۵۰۰۰ حرف DNA فاسد شده بلافاصله با مکانسیم ترمیم جانشین می‌شوند. اگر مکانسیم ترمیم وجود نداشت و بدون وقفه در جریان نبود، پیام رفته‌رفته از بین می‌رفت. خواندن و تصحیح متن رونوشت جدید موردی از کار ترمیم است. عمدتاً این خواندن و رفع اشتباه است که ضامن دقت قابل ملاحظه و امانت در نگهداری اطلاعات است.

دیدیم که مولکول‌های DNA مرکز یک تکنولوژی اطلاعات شگفت‌آورند. و می‌توانند حجم زیادی از اطلاعات دیجیتالی را در فضایی کوچک بسته‌بندی کنند و آن را به صورت حیرت‌آوری با کمترین اشتباه برای مدت زمان‌هایی که با میلیون‌ها سال اندازه گرفته می‌شود نگهداری کنند. این واقعیت‌ها ما را به کجا می‌رساند؟ ما را به سوی یک حقیقت مهم در مورد حیات در کره زمین هدایت می‌کند. این حقیقت که من در پاراگراف اول این فصل درباره دانه درخت بید اشاره غیرمستقیمی به آن

داشتم، این است که جانداران به خاطر DNA وجود دارند نه DNA به خاطر آن‌ها. شاید خیلی واضح نباشد، من بیش‌تر شرح می‌دهم. پیام‌های درون مولکول DNA در مقایسه با طول عمر انسان ادبی به نظر می‌رسد. طول عمر پیام‌های DNA (چند جهش کم‌تر یا بیش‌تر) با واحدهایی به بزرگی یک میلیون تا صد میلیون سال سنجیده می‌شود، به عبارت دیگر، در محدوده عمر ۱۰,۰۰۰ تا تریلیون نفر است. هر جانداری را می‌شود یک وسیله نقلیه موقت در نظر گرفت که پیام DNA زمان بسیار کوچکی از عمر بسیار طولانی‌اش را در آن می‌گذارند.

دنیا پر است از چیزهایی که وجود دارند...! این حرف حساب است و جای بحث ندارد، ولی منظور چیست؟ چیزها هستند چون یا تازه پیدا شده‌اند یا کیفیاتی دارند که باعث می‌شود به مرور زمان از بین نروند. سنگ با سرعت زیاد به وجود نمی‌آید ولی وقتی‌که پیدا شد محکم و مقاوم است. سنگ‌ها اگر مقاوم نبودند، سنگ نبودند، می‌شدند سنگریزه. درواقع بعضی سنگ‌ها این‌طورند و به این دلیل است که ساحل شنی داریم. آن‌هایی که مقاوم‌اند به صورت سنگ مانده‌اند. از طرفی قطره‌های شبنم هم وجود دارند ولی نه به خاطر این‌که مقاومت دارند بلکه به این دلیل پیدا شده‌اند که هنوز فرصت نکرده‌اند بخار شوند. به نظر می‌رسد دو نوع چیز داریم که قابلیت وجود داشتن دارند. یکی از نوع قطره شبنم که در مجموع می‌شود گفت «به وجود می‌آیند و خیلی دوام ندارند» و دیگری از نوع سنگ که در مجموع «خیلی زود به وجود نمی‌آیند اما بعد از پیدایش احتمال دارد مدت‌های طولانی دوام بیاورند». سنگ‌ها، دوام و قطره‌های شبنم «قابلیت به وجود آمدن» (سعی کردم ولی نتوانستم لغت یا اصطلاح بهتری پیدا کنم) دارند.

DNA از این هر دو نوع استفاده می‌کند. خود مولکول DNA به عنوان یک وجود فیزیکی، مثل قطره شبنم است. در شرایط مناسبت با سرعت زیاد تولید می‌شود ولی زمان طولانی دوام نمی‌آورد و ظرف چند ماه از بین می‌رود. مثل سنگ با دوام نیست، اما آن الگویی که مولکول‌ها در توالی خود دنبال می‌کنند، دوام سخت‌ترین

سنگ‌ها را دارد. آن‌ها چیزی دارند که باعث می‌شود میلیون‌ها سال وجود داشته باشند و علت وجودشان در امروز همین است. تفاوت اصلی آن‌ها با قطره شبنم در این است که قطره‌های تازه‌ی شبنم، زاده‌ی قطره‌های قبلی نیستند. گرچه قطره‌های شبنم به هم شباهت دارند ولی لزومی ندارد که شبیه «پدر و مادر» خود باشند. آن‌ها بر خلاف مولکول‌های DNA دودمان ندارند و در نتیجه پیامی را منتقل نمی‌کنند. قطره‌های شبنم از نسل خودساز به وجود می‌آیند؛ پیام‌های DNA با نسخه‌برداری.

جمله واضحی مثل جمله‌ی «جهان پر از چیزهایی است که وجود دارند که باعث بودنشان در جهان می‌شود» یعنی دوام در یک سری نسخه‌های متوالی به کار ببریم. نوع دوام در پیام DNA متفاوت از دوام سنگ و نوع قابلیت به وجود آمدن آن هم متفاوت از قطره شبنم است. در مورد مولکول‌های DNA چیزی که باعث بودنشان می‌شود هر چه هست روشن و پر از تکرار مکرّرات نیست. از قرار معلوم «آن‌چه باعث بودن می‌شود» شامل توانایی تولید ماشین‌هایی مثل من و شما یعنی پیچیده‌ترین چیزهای جهان، هم می‌شود ببینیم چطور می‌تواند چنین باشد.

در کل دلیلش این است که آن ویژگی‌هایی که از DNA معرفی کردیم هم از اجزای لازم در فرایند انتخاب انباشتی‌اند. در مدل کامپیوتری فصل ۳، ما به عمد اجزای اصلی انتخاب انباشتی را در کامپیوتر گذاشتیم. اگر قرار باشد واقعاً در جهان انتخاب انباشتی رخ دهد، باید چیزهایی وجود داشته باشند که خواص آن‌ها آن اجزای اصلی را تشکیل دهند. حالا ببینیم این اجزا چه هستند. ضمن این کار، این حقیقت یادتان نرود که این اجزا حداقل به صورت ابتدایی و ناقص، باید به‌طور خودبه‌خود در ابتدای عمر زمین پیدا شده باشند، در غیر این صورت انتخاب انباشتی و بنابراین حیات از اول پیدا نمی‌شد. بحث ما در این‌جا منحصر به DNA نیست بلکه در مورد اجزای اولیه لازم برای پیدایش حیات در هر جای دنیاست.

وقتی حزقیل، پیامبر عبرانی، در دره استخوان‌ها بود، با استخوان‌ها سخن گفت و

آن‌ها به هم وصل شدند. باز با آن‌ها سخن گفت و استخوان‌ها گوشت و رگ پیدا کردند. ولی هنوز نفسی در کار نبود. آن جزء حیاتی، که زندگی بخش باشد کم بود. در یک سیاره‌ی مرده، اتم، مولکول و مجموعه‌های بزرگی از مواد وجود دارند که طبق قوانین فیزیک به‌طور تصادفی روی هم دیگر ریخته‌اند. گاهی قوانین فیزیک باعث می‌شوند اتم‌ها و مولکول‌ها مثل استخوان‌های حزقیل به هم بچسبند، گاهی هم باعث جدا شدن آن‌ها می‌شوند. ممکن است اتم‌ها توده‌های بزرگی تشکیل دهند یا توده‌های بزرگ از هم بپاشند ولی هنوز نفس ندارند.

حزقیل به چهار باد ندا داد که نفس زندگی را در آن استخوان‌های خشک بدمند. اگر قرار باشد سیاره مرده‌ای، مانند زمین اولیه، از موهبت زندگی برخوردار شود، آن جزء اساسی لازم برای حیات کدام است؟ آن چیز نه نفس است، نه باد نه هیچ نوع اکسیر یا معجون دیگر. اصلاً ماده نیست. یک استعداد (کیفیت) است، استعداد تکثیر خود. این جزء اصلی انتخاب انباشتی است، باید به عنوان پیامد طبیعی قانون‌های طبیعت به نحوی ماهیت‌هایی که توانایی تکثیر خود را داشته‌اند یا آن‌طور که من آن‌ها را می‌نامم «همتاساز»[۱] به وجود آمده باشند. در زندگی امروز تقریباً همیشه این نقش به عهده مولکول‌های DNA است ولی هر آن‌چه که نظیر آن ساخته می‌شود هم همین کار را می‌کند. احتمالاً اولین «همتاساز»ها در ابتدای زمین نباید مولکول‌های DNA بوده باشند. زیرا بعید است که یک مولکول DNAی تمام‌عیار، از عدم به عالم وجود پریده باشد. بدون این‌که از کمک مولکول‌های دیگری که به‌طور عادی فقط در سلول زنده وجود دارند استفاده کرده باشد. احتمالاً همتاسازی‌های اولیه از DNA نتراشیده‌تر و ساده‌تر بودند.

دو جزء ضروری دیگر نیز وجود دارد که به‌طور معمول از آن جزء اول یعنی خود تکثیری پیدا می‌شوند. در نسخه‌برداری از خود باید گاه و بی‌گاه اشتباهاتی وجود داشته باشد، حتی DNA گاه دچار اشتباه می‌شود و این‌طور به نظر می‌رسد که آن

[۱] replicators

«همتاساز»های اولیه‌ای روی زمین، خیلی بیش‌تر دچار اشتباه می‌شدند. و دست کم بعضی از آن‌ها باید بر آینده خودشان اعمال قدرت می‌کردند. این جزء آخر بیش‌تر از آن‌چه که واقعاً هست شرور به نظر می‌رسد. در مجموع به این مفهوم است که بعضی از ویژگی‌های همتاسازها روی احتمال تکثیر شدن آن‌ها تأثیر می‌گذارند. این احتمالاً باید پیامد اجتناب‌ناپذیر آن جزء اصلی، یعنی خود تکراری باشد.

به این ترتیب هر همتاساز نسخه‌هایی از خودش می‌سازد. هر نسخه درست مانند اصل است و همان ویژگی‌ها را دارد. یکی از این ویژگی‌ها ساختن کپی‌های بیش‌تری (البته گاهی همراه با اشتباه) از خود است. بنابراین هر همتاساز جد بالقوه یک سری طولانی از تکرار شونده‌های دیگر محسوب می‌شود که تا آینده‌های دور ادامه می‌یابد و تقسیم می‌شود تا فرزندان بیش‌تر و بیش‌تری تولید کند. هر همتاساز جدید از مواد خامی که دور و بر آن است ساخته می‌شود، از سنگ بناهای کوچک‌تر. شاید عمل همتاساز مانند بعضی از انواع کپک یا الگو باشد. در کپک اجزای کوچک‌تر طوری کنار هم قرار می‌گیرند که دو برابر شدن در کپک صورت می‌گیرد. بعد آن دو برابر شده‌ها از هم جدا می‌شوند و دوباره مانند کپک قبلی عمل می‌کنند. به این ترتیب ما بالقوه یک جمعیت در حال رشد از همتاسازها داریم. رشد این جمعیت نامحدود نیست زیرا ذخیره مواد خام، یعنی عناصر کوچک‌تری که به کپک تبدیل می‌شوند محدود است.

حالا دومین جزء تشکیل‌دهنده را در این بحث معرفی می‌کنیم. گاهی نسخه‌برداری کامل نیست و اشتباهاتی رخ می‌دهد گرچه می‌شود میزان اشتباه را کاهش داد هرگز نمی‌شود آن را از فرایند نسخه‌برداری کاملاً حذف کرد. سازندگان سیستم‌های پیشرفته مدام در تلاشند که از میزان خطای دستگاه‌ها کم کنند و همان‌طور که ملاحظه کردیم DNA هم در کم کردن خطا بسیار مهارت دارد. اما امروز تکرار DNA با تکاملی که در خواندن دقیق و تصحیح کردن نسخه‌ها، طی نسل‌های بسیار از انتخاب انباشتی، پیدا شده تکنولوژی پیشرفته‌ای دارد. چنان‌که دیدیم، احتمالاً آن همتاسازهای اولیه

نسبتاً خشن و خام بودند و در مقایسه امانت کمتری در نسخه‌برداری داشتند.

حالا به جمعیت همتاسازها برمی‌گردیم تا ببینیم نسخه‌برداری اشتباه چه اثرهایی خواهد داشت. بدیهی است که به جای جمعیت یک دستی از همتاسازهای مانند هم، یک جمعیت مخلوط خواهیم داشت. شاید بعضی از محصولات نسخه‌برداری غلط، خاصیت تکرارپذیری خود را که در پدرانشان بود از دست بدهند. اما تعدادی این ویژگی را حفظ می‌کنند در حالی که از جنبه‌های دیگر با پدر یا مادر خود تفاوت دارند. به این ترتیب در آن جمعیت نسخه‌هایی از تکرار اشتباه وجود خواهد داشت.

وقتی به واژه «اشتباه» می‌رسید، همه تداعی‌های منفی آن را از ذهن‌تان دور کنید. فقط آن را «اشتباه» از نظر امانت در نسخه‌برادری در نظر بگیرید. در مواردی «اشتباه» ممکن است باعث پیشرفت چیزی بشود. به جرأت می‌گویم بسیاری از غذاهای جدید امروزی بر اثر اشتباه آشپزها در پیروی از یک دستور تهیه، کشف شده‌اند. اگر من بتوانم ادعا کنم که ایده‌های علمی جدیدی داشته‌ام، بیش‌تر آن‌ها سوء تعبیر یا غلط‌خوانی مردم دیگر بوده‌اند. در مورد همتاسازهای نخستین باید گفت اگرچه بیش‌تر نسخه‌برادری‌های دارای اشتباه، احتمالاً منجر به تضعیف یا کلاً حذف خاصیت خودتکثیری شدند ولی تعدادی از آن‌ها عملاً در تکثیر خود بهتر از پدر و مادری که آن‌ها را ساختند عمل کرده‌اند.

«بهتر»، به چه معنی است؟ در نهایت به معنی کاراتر بودن در تکرار خود است، اما آن را در عمل چطور می‌بینیم؟ این موضوع ما را به سراغ سومین «جزء تشکیل دهنده» انتخاب انباشتی می‌برد. من اسم آن را «قدرت» می‌گذارم و علتش را برای‌تان می‌گویم. وقتی ما تکرارپذیری را یک فرایند کپک مانند در نظر گرفتیم، دیدیم که آخرین گام آن باید جدا شدن نسخه جدید از کپک قبلی باشد. زمان لازم برای این کار شاید تحت تأثیر یک ویژگی خاص باشد که من نامش را «چسبندگی»[1]

[1] stickiness

کپک می‌گذارم. فرض کنید که در جمعیت همتاسازها، که به علت نسل‌ها اشتباه در نسخه‌برداری، خیلی یک‌دست نیست، بعضی انواع از بقیه چسبنده‌تر باشند. یک نوع خیلی چسبناک به‌طور متوسط یک ساعت می‌چسبد بعد بالاخره رها می‌شود تا دور جدید تکرار شروع شود. برای یک نوع دیگر که کمتر چسبنده است این زمان کمتر از یک ثانیه است. یعنی بعد از تشکیل هر نسخه جدید زود آن را آزاد می‌کند. کدام یک از این دو نوع در میان جمعیت آن همتاسازها غالب محسوب می‌شود؟ پاسخ این سؤال واضح است. اگر این ویژگی‌ها، تنها مشخصه تمایز دهنده این دو نوع باشد تعدا آن‌که چسبناک‌تر است: در آن جمعیت خیلی کمتر خواهد بود. آن‌که غیرچسبنده است مدام نسخه‌هایی مانند خودش تولید می‌کند و تا آن چسبنده یکی مانند خود تولید کند، آن غیرچسبناک هزاران غیرچسبناک تولید کرده است. انواعی با چسبناکی متوسط سرعت خود تکثیری شان متوسط است. گرایش تکامل به سوی چسبناکی کمتر خواهد بود.

چیزی مانند این نوع انتخاب طبیعی ابتدایی در لوله آزمایش انجام شده است. ویروسی به نام Q-Beta به عنوان انگل در *Escherichia Coli* باکتری روده، زندگی می‌کند. کیو–بتا DNA ندارد ولی بیش‌تر آن از یک رشته مولکول‌های به هم پیوسته RNA تشکیل شده است. RNA هم می‌تواند با روشی مانند DNA تکثیر شود.

در یک سلول معمولی کنار هم قرار گرفتن مولکول‌های پروتئین طبق خصوصیات نقشه RNA صورت می‌گیرد. این نسخه‌های نقشه کار از DNAهای اصلی که در آرشیو گرانبهای سلول نگه داشته شده‌اند، بیرون می‌آیند. بنابر اصول نظری، می‌توان دستگاه‌های خاصی – یک مولکول پروتئین مانند بقیه دستگاه‌های سلولی ساخت که از – نسخه‌های دیگر RNA، کپی تهیه کند. چنین دستگاهی مولکول تکثیر RNA (RNA replicase) نامیده می‌شود. باکتری به‌طور عادی فایده‌ای برای این دستگاه‌ها ندارد و چیزی نمی‌سازد. ولی آن مولکول تکثیر یک مولکول پروتئین مثل هر

مولکول دیگر است، ماشین‌های همه کاره‌ی پروتئین‌سازِ باکتری می‌توانند به آسانی شروع به ساختن آن کنند، درست همان‌طور که در زمان جنگ از دستگاه‌های کارخانجاتِ اتومبیل‌سازی برای ساختن ابزار جنگ استفاده می‌کنند و تنها چیزی که لازم دارند داشتن نقشه فنی مناسب است. در اینجاست که ویروس وارد گود می‌شود.

دستور کار ویروس یک نقشه RNA است. ظاهراً بعد از خارج شدن از DNAی اصلی باکتری از نسخه‌های دیگر RNA قابل تشخیص نیست. اما اگر شما حروف ریز RNAی ویروس را بخوانید، می‌بینید که یک چیز شیطانی در آن نوشته شده است. آن حروف نقشه‌های ساخت (مولکول تکثیر RNA) را بیان می‌کنند: نقشه ساخت دستگاه‌هایی که نسخه‌های بیش‌تری از نقشه همان RNA را می‌سازند، نقشه‌هایی برای ساختن دستگاه‌هایی که نسخه‌های بیش‌تری از نقشه می‌سازند و همین‌طور تا آخر.

به این ترتیب نقشه‌های فنی خودخواه کارخانه را در اختیار می‌گیرند. شاید خود کارخانه است که این اشغال شدن را می‌طلبد. اگر آدم کارخانه‌اش را پُر از دستگاه‌های پیشرفته‌ای کند که بتواند هر نقشه فنی را که به آن‌ها داده می‌شود به اجرا در آورند، دیگر جای تعجب ندارد که دیر یا زود یکی از آن نقشه‌های قد علم کرده، از ماشین‌ها بخواهد که فقط نسخه‌هایی از خودش را بسازند. کارخانه پُر می‌شود از این دستگاه‌های شروری که هر کدام نقشه‌های شروری برای تولید بیش‌تر دستگاه‌هایی که آن‌ها را می‌سازند تولید می‌کنند. سرانجام باکتری بیچاره منفجر می‌شود و میلیون‌ها ویروس بیرون می‌ریزند که باکتری‌های جدید را آلوده می‌کنند. این چرخه زندگی عادی ویروس در طبیعت است.

من مولکول تکثیر RNA، و RNA را به ترتیب، دستگاه و نقشه فنی نامیده‌ام. از یک نظر چنین‌اند (در فصل دیگر، جنبه‌های دیگر آن‌ها مورد بحث قرار خواهد گرفت) ولی آن‌ها مولکول‌اند و برای شیمیدان‌ها این امکان وجود دارد که آن‌ها را

پالایش کرده و در شیشه بریزند و در قفسه نگهدارند. این کار را *سُل اشپیگل‌من*[۱] و همکاران او در دهه ۶۰ در آمریکا انجام دادند. آن‌ها آن دو مولکول را با هم در محلول قرار دادند و اتفاق جالبی افتاد. در لوله آزمایش RNA مولکول‌ها با کمک حضور مولکول‌های تکثیر RNA، برای ساخت کپی‌هایی از خودشان به عنوان الگو (template) عمل می‌کردند. ابزارهای دستگاه و نقشه‌های فنی را، جدا از یکدیگر، عصاره‌گیری کرده و در محفظه‌های سرد قرار دادند. بعد، به محض این‌که آن‌ها به یکدیگر و همچنین به مولکول‌های کوچک که نقش مواد خام را داشتند، در آب، دسترسی می‌یافتند، هر دو همان کلک قبلی را می‌زدند، گرچه این بار دیگر در سلول زنده نبودند بلکه درون لوله آزمایش بودند.

در آزمایشگاه از این‌جا تا انتخاب طبیعی و تکامل فقط یک گام کوتاه باقی است. این یک روایت شیمیایی از بیومورف‌های کامپیوتری است. در روش تجربی در یک ردیف طولانی از لوله‌های آزمایشی معمولی از مولکول‌های تکثیر RNA و مواد خام، مولکول‌های کوچکی که برای ساخت RNA لازم است، قرار می‌دهند. درون هر لوله آزمایش ابزار دستگاه و مواد خام وجود دارد ولی تا وقتی‌که نقشه فنی وجود ندارد کاری صورت نمی‌گیرد. بعد یک مقدار بسیار کم از خود RNA را به اولین لوله آزمایش اضافه می‌کنند. دستگاه تکثیر فوراً به کار می‌افتد و از مولکول RNA که جدیداً وارد شده نسخه‌های فراوانی تولید می‌کند و این نسخه‌ها در لوله آزمایش پراکنده می‌شوند. حالا یک قطره از محلول لوله آزمایش اول داخل لوله دوم ریخته می‌شود. آن فرایند خود را در لوله دوم تکرار می‌کند، و بعد از لوله دوم یک قطره برداشته برای لوله سوم به کار می‌رود و همین‌طور تا آخر.

گاهی به خاطر اشتباه‌های تصادفی در نسخه‌برداری، خودبه‌خود مولکول‌هایی جهش‌یافته، با اندکی تفاوت، پیدا می‌شوند. اگر این نوع جهش‌یافته به هر دلیلی، از نظر رقابت، بر نوع اول برتری داشته باشد، به صورت آشکار در لوله پراکنده شده و

[۱] Sol Spiegelman

تعداد آن خیلی بیش‌تر از نوع والد خود می‌شود. منظور از برتری این است که مثلاً با چسبناکی کمتر، سرعت بیش‌تر یا به شکل مؤثرتری خود را تکثیر می‌کند. سپس وقتی قطره‌ای از آن لوله برای ریختن در لوله آزمایش دیگر، برداشته شود، آن نوع جدید است که بذرافشانی می‌شود. وقتی ما RNAها را در یک رشته متوالی از لوله‌های آزمایشی بررسی کنیم، آن‌چه را که ملاحظه می‌کنیم چیزی جز تغییرات تکاملی نیست. آن انواعی از RNA را که از نظر رقابت برتری دارند و در پایان چند نسل لوله آزمایش تولید شده‌اند می‌توان برداشت و در شیشه ریخت و برچسبی رویش زد و برای استفاده‌های بعدی گذاشت. نوعی که V2 نام دارد خیلی سریع‌تر از RNA «کیو – بتا»ی معمولی تکثیر می‌شود، شاید به این دلیل که ریزتر است. برخلاف «کیو – بتا» برای تکثیر شدن احتیاج به نقشه فنی ندارد. آزمایش‌کننده‌ها آن را در اختیارش می‌گذارند. *لسلی اورگل*[۱] و همکارانش در کالیفرنیا، از RNA V2 به عنوان نقطه شروع آزمایش جالبی استفاده کردند که در آن شرایط محیطی «سختی» را ایجاد کردند.

آن‌ها به لوله‌های آزمایش ماده‌ای سمی به نام اتیدیوم بروماید[۲] را که در ترکیب RNA وجود دارد، اضافه کردند: این ماده در کار ابزار ماشین‌ها اختلال ایجاد می‌کند. *اورگل* و همکارانش کار را با یک سم ضعیف شروع کردند. وجود سم ابتدا سرعت ترکیب را پایین آورد اما بعد از جابه‌جا شدن و تغییرات در نُه نسل لوله آزمایش، رشته جدیدی از RNA که مقاوم به سم بود انتخاب شد. در آن وقت سرعت ترکیب RNA قابل مقایسه بود با وقتی‌که RNA V2 معمولی بدون سم بود. بعد *اورگل* و همکارانش غلظت سم را دو برابر کردند. باز سرعت تکثیر DNA کم شد ولی بعد از جابه‌جایی در ۱۰، یا همین حدود لوله آزمایش، رشته‌ای از RNA پیدا شد که حتی نسبت به سم غلیظ‌تر از آن هم مقاوم بود. باز هم غلظت سم را دو برابر کردند. به این

---

۱ Leslie Orgel

۲ Ethidium bromide

ترتیب، با بیش‌تر و بیش‌تر کردن غلظت توانستند رشته‌ای زا RNA پیدا کنند که می‌توانست حتی وقتی غلظت سم «اتیدیوم بروماید» ده برابر غلظت معمول آن در V2 RNA اجدادی بود، خود را تکثیر کند. آن‌ها نام این رشته مقاوم جدید را V40 RNA گذاشتند. تهیه V40 از V2 با جابه‌جایی مواد در حدود ۱۰۰ لوله، یعنی ۱۰۰ نسل، صورت گرفت (البته تکثیر بسیاری از نسل‌های RNA در عمل هنگام جابه‌جایی و بین لوله‌های آزمایش ادامه داشتند).

اورگل همچنین آزمایش‌هایی انجام داد که در آن‌ها آنزیمی به کار نبرد. او متوجه شد مولکول‌های RNA می‌توانند در این شرایط خودبه‌خود تکثیر شوند، البته با سرعت بسیار کم. به نظر می‌رسید آن‌ها به کاتالیزوری مثل «روی» نیاز دارند. این نکته مهم است زیرا در نخستین روزهای پیدایش حیات که اولین تکثیر شونده‌ها به وجود آمدند، نمی‌توانیم انتظار داشته باشیم که در دور و بر آن‌ها آنزیم‌هایی برای کمک به تکثیر وجود داشتند. ولی روی احتمالاً وجود داشت.

آزمایش‌های تکمیلی یک دهه پیش، در آزمایشگاه یک پژوهشگاه توانمند آلمانی تحت نظارت *مانفرد ایجین*[1] انجام گرفت. آن‌ها روی پیدایش حیات کار می‌کردند. مولکول‌های تکثیر RNA و سنگ بنای RNA را در لوله آزمایش گذاشتند ولی آن محلول را با RNA بذرپاشی نکردند. با وجود این، یک مولکول درشت RNAی خاص به‌طور خودبه‌خود در لوله آزمایش پیدا شد و آن مولکول دوباره و دوباره در آزمایش‌های جداگانه دیگر نیز خود را ساخت. بررسی دقیق نشان داد که احتمال آلودگی اتفاقی با مولکول RNA وجود ندارد. اگر از نظر آماری عدم احتمال پیدایش دوباره و خودبه‌خود آن مولکول درشت را در نظر بگیرید این نتیجه بسیار قابل توجه است. احتمال وقوع چنین چیزی خیلی کمتر از آن است که جمله METHINKS IT IS LIKE A WEASEL اتفاقی نوشته شود. مانند این جمله‌ی ما در کامپیوتر، آن مولکول RNAی مورد بحث، حاصل تکامل تدریجی و انباشتی بود.

[1] Manfred Eigen

نوعی از RNA که، به تکرار در این آزمایش‌ها تولید شد از نظر ساختار و اندازه مانند مولکول‌هایی بود که «اسپیگل من» تولید کرده بود. اما در حالی‌که مولکول‌های «اسپیگل من» از تخریب RNA ویروسی «کیو – بتا» طبیعی پیدا شده بودند، مولکول‌های گروه *ایجین* تقریباً از هیچ تولید شده بودند. این فرمول خاص مناسب شرایطی است که در لوله آزمایش از قبل مولکول‌های تکثیر RNA وجود داشته باشد. به این ترتیب یک همگرایی را از دو نقطه شروع متفاوت با استفاده از انتخاب انباشتی داریم. مولکول‌های درشت‌تر RNA «کیو – بتا» کمتر مناسب محیط لوله آزمایش هستند ولی با محیط سلول‌های *E.Coli* سازگارترند.

این آزمایش‌ها به ما در درک فرایند خودبه‌خودی و سرشت غیرارادی بودن انتخاب طبیعی کمک می‌کنند. ماشین‌های تکثیر نمی‌دانند چرا مولکول‌های RNA می‌سازند: این فقط یک محصول فرعی آن‌هاست که می‌سازند. و خود مولکول‌های RNA هم از راهکار دو برابر شدن خود سر در نمی‌آورند. حتی اگر می‌توانستند فکر کنند هم، معلوم نبود چرا باید یک موجود متفکر بخواهد به تکثیر خود بپردازد. اگر من می‌دانستم چگونه موجوداتی مانند خودم بسازم، مطمئن نیستم که انجام چنین کاری را به کارهای دیگرم ترجیح می‌دادم. چرا باید این کار را می‌کردم؟ برای مولکول انگیزه معنا ندارد. فقط به‌طور اتفاقی ساختار ویروسی RNA طوری است که باعث می‌شود دستگاه‌های سلولی کپی‌هایی از خودشان تولید کنند. و اگر هر جانداری، در هر جای جهان، به‌طور اتفاقی دارای این ویژگی باشد که همانند خود را بسازد، یقیناً تعداد بسیار زیادی از آن‌ها پیدا خواهد شد. علاوه بر این، چون آن‌ها به‌طور خودبه‌خود دودمانی می‌سازند و گاهی در آن نسخه‌برداری‌ها اشتباه رخ می‌دهد، نسخه‌های بعدی در ساختن کپی از خود ماهرتر از قبلی‌ها هستند. به دلیل فرایند قدرت‌طلب انتخاب انباشتی. این جریان کاملاً ساده و خود انگیخته است. و به همان اندازه که تقریباً اجتناب‌ناپذیر است، قابل پیش‌بینی نیز هست.

یک مولکول RNA «موفق» در لوله آزمایش، به خاطر کیفیت ذاتی خودش موفق

است، کیفیت ذاتی چیزی مثل «چسبندگی» در مثال فرضی من است. ولی ویژگی‌های مثل «چسبندگی» خیلی ملال‌آورند. آن‌ها ویژگی‌های اولیه‌ی خودِ همتاسازها هستند. ویژگی‌هایی هستند که اثر مستقیمی روی احتمال تکرار شدن دارند. خوب اگر همتاساز روی چیز دیگری اثر بگذارد و آن چیز روی یک چیز دیگر اثر بگذارد و آن هم روی چیز دیگر که سرانجام به‌طور غیرمستقیم شانس تکرار شدن آن همتاساز را تحت تأثیر قرار دهد چه خواهد شد؟ ملاحظه می‌کنید اگر چنین زنجیره طولانی از علت وجود داشته باشد، آن حرف حساب بی‌مورد نخواهد بود. آن همتاسازهایی که به‌طور اتفاقی چیزی دارند که باعث می‌شود تکرار شوند، جهان را قبضه خواهند کرد، مهم نیست زنجیر این علت و معلول‌ها که روی احتمال تکثیر آن‌ها تأثیر می‌گذارند، تا چه حد طولانی و غیرمستقیم باشد. و به همین دلیل، جهان پر از حلقه‌های این زنجیره اتفاقی می‌شود. ما به این حلقه‌ها خواهیم رسید و از دیدن آن‌ها حیرت زده خواهیم شد.

در جانداران امروزی همیشه آن‌ها را می‌بینیم. آن‌ها چشم و پوست و استخوان و انگشت و مغز و غریزه‌اند. این چیزها ابزار تکثیر DNAاند. آن‌ها معلول DNA هستند به این مفهوم که تفاوت در چشم‌ها، پوست‌ها، استخوان‌ها، غریزه‌ها و غیره ناشی از تفاوت در DNAهاست. آن‌ها روی تکثیر DNAای که به وجودشان آورده اثر می‌گذارند و از این طریق بقا و تکثیر بدن خود را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بدنی که همان DNA در آن است و سرنوشت آن با سرنوشت آن DNA گره خورده است. بنابراین خود DNA، از طریق ویژگی‌های بدن، روی تکثیر خودش اثر می‌گذارد. می‌شود گفت DNA بر آینده‌ی خود اِعمال قدرت می‌کند و ابزار اِعمال قدرت او، بدن، اعضا و الگوی رفتار است.

منظور ما از قدرت، اثر همتاسازهاست که آینده‌ی خودشان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، گرچه پیامد آن ممکن است غیرمستقیم باشد. مهم نیست که در این زنجیره از علت تا معلول چند حلقه وجود داشته باشد. اگر علت، یک موجودِ دارای خاصیتِ

خودتکراری باشد، معلول هرچقدر هم دور و غیرمستقیم باشد، در معرض انتخاب طبیعی قرار می‌گیرد. من منظور کلی را در قالب داستانی درباره «بیدستر» (beaver) به صورت خلاصه بیان می‌کنم. شاید بعضی جزئیات آن فرضی باشد ولی یقیناً از حقیقت دور نیست. گرچه تا کنون پژوهشی روی رشد ارتباط ذهنی در «بیدستر» صورت نگرفته ولی این نوع تحقیقات روی حیوانات دیگر از جمله کرم‌ها انجام شده است. من آن نتایج را وام گرفته در مورد «بیدستر» استفاده کرده‌ام زیرا برای بسیاری از مردم بیدستر حیوان جالب‌تر و دوست‌داشتنی‌تر از کرم است.

جهشِ یک ژن در بیدستر باعث تغییر یک حرف در متن یک میلیون حرفی است؛ تغییری است در ژن خاص G. ضمن رشد بچه بیدستر، این تغییر همراه همه حروف دیگر متن در همه سلول‌های آن جانور نسخه‌برداری می‌شود. در بیش‌تر این سلول‌ها آن ژن G خوانده نمی‌شود؛ ژن‌های دیگر که مربوط به کارکرد انواع دیگر سلول‌هاست خوانده می‌شوند. اما در بعضی از سلول‌های مغزِ در حال رشد ژن G خوانده می‌شود. این ژنِ خوانده شده به صورت نسخه‌های RNA درون سلول شناورند. و گاهی بعضی از آن‌ها به دستگاه‌های پروتئین‌سازی به نام «ریبوزوم» برمی‌خورند. آن دستگاه‌های پروتئین‌ساز نقشه‌های آن RNA را خوانده و شروع به ساختن مولکول‌هایی با آن مشخصات می‌کنند. این مولکول‌های پروتئین بر اساس ترتیب اسیدهای امینه خود حاصل ترتیب رمز DNA ژن G است. وقتی ژن G جهش می‌یابد، این تغییر باعث یک تفاوت اساسی در ترتیب عادی اسیدهای امینه ژن G و در نتیجه در شکل مارپیچی مولکول‌های پروتئین آن می‌شود.

این مولکول‌های پروتئین که تا اندازه‌ای تغییر یافته‌اند توسط دستگاه‌های پروتئین‌ساز سلول‌های مغز در حال رشد به تعداد زیاد تکثیر می‌شوند. آن‌ها هم به نوبه خود مانند آنزیم عمل کرده، دستگاه‌هایی می‌شوند که ترکیبات دیگری در سلول می‌سازد، محصولات ژنی. محصولات ژن G به غشای اطراف سلول راه پیدا می‌کنند و از این طریق وارد جریاناتی می‌شوند که طی آن، سلول با سلول‌های دیگر ارتباط

برقرار می‌کند. به علت تغییر مختصری که در نقشه DNA اصلی وجود داشته، سرعت تولید بعضی از ترکیبات غشا تغییر می‌کند. این تغییر به نوبه خود چگونگی ارتباط بعضی از سلول‌های مغز در حال رشد را تغییر می‌دهد. به این ترتیب یک تغییر جزئی که در برنامه بخش خاصی از مغز «بیدستر» رخ می‌دهد، پیامد غیرمستقیم و درواقع از دور منتقل شده‌ی یک تغییر در متن DNA است.

گاهی بر حسب اتفاق این بخش خاص مغز بیدستر به خاطر جایگاهی که نسبت به کل مغز دارد در ارتباط با رفتار سدسازی او قرار می‌گیرد. البته وقتی‌که این جانور سد می‌سازد قسمت‌های بزرگی از مغز درگیر می‌شود ولی با جهش ژن G برنامه ارتباطات این بخش مغز تحت تأثیر واقع شده و باعث تغییر خاصی روی آن رفتار می‌شود. این جهش باعث می‌شود که حیوان هنگام شنا وقتی تکه چوبی را بین آروارهایش نگه داشته در آب سرش را کمی بالاتر نگه دارد. یعنی بالاتر از یک بیدستر جهش‌نیافته نگه دارد. این کار باعث می‌شود که ضمن حرکت او در آب احتمال پاک شدن گِل‌ولای چسبیده به آن تکه چوب کمتر شود. وجود گِل‌ولای چسبندگی چوب را بیش‌تر می‌کند یعنی وقتی یک بیدستر آن را در سد فرو می‌کند، بهتر آن‌جا می‌ماند. این قضیه در مورد همه تکه چوب‌هایی که بیدسترِ جهش‌یافته حمل می‌کند صادق است. افزایش چسبندگی چوب پیامد غیرمستقیم یک تغییر در متن DNA است.

افزایش چسبندگی چوب باعث می‌شود سد ساختار محکم‌تری داشته باشد و احتمال فرو ریختن آن کمتر شود. این به نوبه خود اندازه آبگیر پشت سد را افزایش می‌دهد و باعث می‌شود لانه‌ای که در وسط آن آبگیر ایجاد می‌شود، از مزاحمت حیوانات مهاجم، بیش‌تر در امان باشد. همین امر باعث می‌شود که بیدسترها فرزندان بیش‌تری به‌طور موفقیت‌آمیز در آن‌جا نگهداری کنند. اگر به کل جمعیت بیدسترها توجه کنیم، می‌بینیم آن‌ها که آن ژنِ تغییر یافته را دارند نسبت به آن‌هایی که آن جهش را نداشته‌اند [به‌طور متوسط فرزندان بیش‌تری را حفظ خواهند کرد]. آن

فرزندان از والدین‌شان همان نسخه‌های ژن تغییر یافته را به ارث خواهند برد. بنابراین در آن جمعیت، با گذشت نسل‌ها، از این صورتِ آن ژن، تعداد بیش‌تری وجود خواهد داشت. سرانجام چنین وضعیتی وضعیت معمول محسوب شده و دیگر عنوان «جهش» را نخواهد داشت. و در کل، سدهای بیدسترها یک گام پیشرفته‌تر خواهد شد.

بحثِ این‌که این داستان فرضی است و جزئیات آن ممکن است نادرست باشد ربطی به اصل موضوع ندارد. انتخاب طبیعی باعث پیشرفته شدن سد شده و بنابراین آن‌چه در واقعیت صورت گرفته نمی‌تواند خیلی با داستانی که من گفتم تفاوت داشته باشد، مگر در جزئیات اجرایی آن. مفاهیم کلی این دیدگاه نسبت به حیات را در کتاب دیگری با نام *فنوتیپ گسترش یافته*[1] شرح داده و به دقت بررسی کرده‌ام و دیگر آن بحث را در این‌جا تکرار نمی‌کنم. ملاحظه کردید که در این داستان فرضی، کمتر از یازده حلقه در زنجیره اتفاقات، برای اتصال ژنِ تغییر یافته به امکانِ بهتر برای بقا وجود دارد. در زندگی واقعی ممکن است تعداد آن حلقه‌ها بیش‌تر از این باشد. هر یک از آن حلقه‌ها، چه تغییر شیمیایی درون یک سلول باشد، چه یک اثر بعدی روی چگونگی ارتباط سلول‌های مغز، چه یک تأثیر بعدی روی رفتار، یا تأثیر نهایی روی اندازه دریاچه، در هر صورت بی‌شک از تغییری در DNA حاصل شده است. اگر یک‌صد و یازده اتصال هم بود فرقی نمی‌کرد. هر تأثیری که تغییر یک ژن روی احتمال تکثیر خودش داشته باشد، برای انتخاب طبیعی بازی بی‌طرفانه[2] است. کاری است کاملاً ساده و به طرز خوشایندی خودانگیخته و بدون برنامه قبلی. وقتی‌که اجزاء اصلی انتخاب انباشتی – تکثیر، اشتباه و قدرت – پدید آمده باشند. چنین امری تقریباً اجتناب‌ناپذیر است. اما این اتفاق چگونه رخ داده است؟ چگونه آن‌ها، قبل از شروع حیات، بر روی زمین پیدا شدند؟ در فصل بعد خواهیم دید

---

[1] The Extended Phenotype

[2] Fair game، شکار قانونی.

چگونه می‌توان به این سؤال مشکل پاسخ داد.

فصل ٦

منشاءها و معجزه‌ها

شانس، اقبال، تصادف، معجزه. معجزه و بررسی مفهوم آن از نظر ما، یکی از موضوعات اصلی این فصل است. تصور من این است که رویدادهایی که ما معمولاً آن‌ها را معجزه می‌نامیم خارق‌العاده نیستند بلکه جزئی از یک طیف رویدادهای کمابیش نامحتمل‌اند. به عبارت دیگر، معجزه اگر اصلاً وجود داشته باشد، اصابت شانس است. نمی‌توان رویدادها را به دو دسته‌ی متمایز طبیعی و معجزه تقسیم کرد.

احتمال وقوع بعضی از رویدادهای آینده به‌قدری کم است که ما به آن‌ها فکر نمی‌کنیم، ولی بد نیست میزان عدم احتمال آن‌ها را حساب کنیم. برای انجام چنین محاسبه‌ای لازم است بدانیم برای وقوع چنین رویدادی چه مدت زمان، یا کلی‌تر بگوییم چه تعداد موقعیت باید منظور شود. اگر زمان یا موقعیت‌ها را نامحدود در نظر بگیریم، هر اتفاقی ممکن است رخ دهد. برای این‌که یک برآورد تقریبی از این‌که چه چیز را خارق‌العاده محسوب کنیم به دست آوریم، باید ارقام بزرگی را که در محاسبات نجومی به کار می‌برند و زمان‌های درازی را که در زمین‌شناسی مطرح‌اند کنار هم بگذاریم. با استفاده از مثال خاصی که دیگر موضوع اصلی این بخش را تشکیل می‌دهد، به این نکته خواهم رسید. مثال مربوط به این مسئله است که حیات چگونه روی زمین آغاز شد. برای روشن کردن مطلب، من به عمد نظریه خاصی را

انتخاب کرده‌ام، در حالی‌که هر یک از دیگر نظریه‌های امروزی درباره منشاء حیات نیز می‌توانست این مقصود را برآورده کند.

ما در توضیح‌مان می‌توانیم شانس را تا حدی قبول داشته باشیم. البته نه خیلی زیاد. مسئله این است که شانس چه اندازه نقش دارد؟ زمان‌های طولانی بیش‌تر از محکمه دادگاه به ما اجازه می‌دهند که اتفاقات نامحتمل را باور کنیم، با این حال هر چیزی حدی دارد. کلید همه توضیح‌های امروزی ما درباره پیدایش حیات، انتخاب انباشتی است. انتخاب انباشتی یک سلسله رویداد مساعد (جهش‌های تصادفی) را به نحوی با توالی خاصی کنار هم قرار می‌دهد که شانس ظاهراً در به وجود آمدن محصول نهایی آن نقش بسیار زیاد داشته است. در حالی‌که پیدا شدن چنان چیزی بسیار نامحتمل‌تر از آن است که حاصل شانس محض باشد، حتی اگر گستره زمان آن میلیون‌ها بار بیش‌تر از سن کنونی جهان باشد. انتخاب انباشتی کلید کار است ولی خودش باید از جایی شروع شده باشد و ما چاره‌ای نداریم جز این‌که یک رویداد مساعدِ تک مرحله‌ای را در مورد پیدایش خود انتخاب انباشتی مسلم فرض کنیم.

و آن نخستین گام حیاتی، مرحله مشکلی بوده زیرا در درون خود تناقض داشته است. آن فرایند تکثیری که ما می‌شناسیم ظاهراً به دستگاه‌های پیچیده‌ای نیاز دارد. بخش‌هایی از RNA، با حضور یک ابزار ماشین تکثیر مولکولی، همه به‌طور همگرا و مکرر در جهت یک مقصد نهایی پیشرفته تکامل می‌یابند – مقصدی که احتمال دستیابی به آن بسیار کم است – مگر این‌که نیروی انتخاب انباشتی مدد کند. اما باید این انتخاب انباشتی را به نحوی راه انداخت. برای این کار چاره‌ای نیست جز این‌که از یک کاتالیزور استفاده کنیم. آن کاتالیزور هم بعید است که خودبه‌خود به وجود آید و باید مولکول‌های دیگر RNA این امکان را فراهم کرده باشند. مولکول‌های DNA در دستگاه‌های پیچیده سلول و واژه‌های مکتوب در دستگاه‌های پلی‌کپی تکثیر می‌شوند و هیچ کدام از آن‌ها نمی‌توانند بدون وجود آن دستگاه‌ها و خودبه‌خود تکثیر شوند. دستگاه پلی‌کپی می‌تواند نقشه خودش را تکثیر کند ولی

نمی‌تواند خودبه‌خود در عالمِ وجود پیدا شود. «بیومورف‌ها» هم در محیطی که برنامه کامپیوتری مناسبی برایشان نوشته باشند پیدا می‌شوند ولی نمی‌توانند برنامه خودشان را بنویسند یا کامپیوتری بسازند که آن را اجرا کند. نظریه «ساعت‌ساز نابینا» نظریه‌ای بسیار قوی است به شرط آن‌که مجاز باشیم تکثیر و در پی آن انتخاب انباشتی را مسلم فرض کنیم. اما وقتی تکثیر به دستگاه‌های پیچیده نیاز داشته باشد، چون تنها راهی که برای ایجاد آن دستگاه‌ها می‌شناسیم انتخاب انباشتی است، به مشکل بر می‌خوریم.

بی‌شک دستگاه‌های درون سلول امروزی، ابزارهای تکثیر DNA و ساخت پروتئین، تمام ویژگی‌های یک دستگاه پیشرفته اختصاصی شده را دارد. دیدم که دقت این دستگاه در حفظ اطلاعات تا چه حد شگفتی‌آور است. در آن مقیاس بسیار ریز خودش، نظم و پیچیدگی‌ها و ریزه‌کاری‌هایی را دارد که چشم انسان در مقیاسی بزرگ‌تر دارد. همه‌ی کسانی که به این موضوع پرداخته‌اند معتقدند که ممکن نیست چیزی به پیچیدگی چشم انسان در یک انتخاب تک مرحله‌ای به وجود آید. متأسفانه حداقل در مورد بخشی از دستگاه‌های سلول که از طریق آن‌ها DNA خودش را تکثیر می‌کند هم همین‌طور است و این نه فقط در مورد سلول موجودات پیشرفته مثل ما و آمیب‌ها، بلکه در مورد موجودات نسبتاً ابتدایی مانند باکتری‌ها و جلبک‌های سبز و آبی نیز صادق است.

بنابراین انتخاب انباشتی می‌تواند چیزهای پیچیده را بسازد در حالی‌که انتخاب تک مرحله‌ای نمی‌تواند. ولی برای این‌که انتخاب انباشتی به راه بیفتد باید دست کم دستگاه‌ها توان تکثیر داشته باشند و تنها ماشینِ تکثیرِ شناخته شده برای ما، آن‌قدر پیچیده است که حاصل حداقل چندین نسل از انتخاب انباشتی است! از نظر بعضی‌ها اِشکال عمده در کل نظریه ساعت‌ساز نابینا همین است. آن‌ها این تناقض را دلیل نهایی برای در نظر گرفتن یک طرح قلمداد کرده و وجود یک ساعت‌ساز فوق طبیعی آینده‌نگر را می‌پذیرند نه یک ساعت‌ساز نابینا را. شاید این‌طور استدلال

می‌کنند که احتمالاً آن آفریننده جریان تکامل را روز به روز دنبال نمی‌کند و طرح ببر و بره را رسم نکرده یا نقشه درخت را نکشیده ولی دستگاه‌های اصلی و نیروی تکثیر، یعنی دستگاه‌های اولیه DNA و پروتئین که انتخاب انباشتی را راه انداختند به وجود آورده و به این ترتیب امکان این همه تکامل را فراهم ساخته است.

معلوم است که این استدلال چندان محکم نیست. درواقع استدلالی است که خودش را نقض می‌کند. مشکل ما توجیه پیچیدگی‌های سامان‌یافته است. اگر ما بتوانیم پیچیدگی سامان یافته را مسلم فرض کنیم، حالا اگر آن فقط پیچیدگی سامان یافته دستگاه‌های تکثیر DNA/پروتئین باشد، آن وقت در نظر گرفتن آن به عنوانِ دستگاهِ تولید کننده‌ی پیچیدگی‌های سامان‌یافته‌ی بیش‌تر، کار چندان مشکلی نیست. درواقع بیش‌تر این کتاب درباره همین موضوع است. البته هر آفریننده‌ای که بتواند چیزی به پیچیدگیِ دستگاه‌های تکثیر DNA و پروتئین را هوشمندانه طراحی کند، خودش باید حداقل به پیچیدگی و سامان‌یافتگی آن دستگاه‌ها باشد. حالا اگر ما او را آن‌قدر توانمند در نظر بگیریم که می‌تواند امور پیشرفته‌ای [مثل گوش دادن به دعاها و مغفرت گناهان] را انجام دهد، پس باید خیلی پیچیده‌تر باشد. اگر منشاء دستگاه‌های DNA/پروتئین را بخواهیم با استفاده از یک طراح فوق طبیعی توضیح دهیم، درواقع توضیحی نداده‌ایم زیرا با این روش هم چنان منشاء آن طراح بدون شرح باقی می‌ماند. در چنین استدلالی باید بگویید آفریننده از اول بوده یا چیز دیگری به این مفهوم، ولی اگر به این سادگی بخواهید طفره بروید می‌توانید اصلاً بگویید DNA از اول بوده یا حیات همیشه بوده و قال قضیه را بکَنید.

هرچه از معجزه دور شده و به طرف نامحتمل‌های عظیم، تصادف‌های جالب، شانس‌های بزرگ برویم، بهتر می‌توانیم این موقعیت‌ها را به صورت یک رشته از رویدادهای مساعد در آوریم. در آن صورت توضیح ما برای یک ذهن منطقی، قانع کننده‌تر خواهد بود. ولی سؤال ما در این فصل این است که یک حادثه را تا کجا نامحتمل و در چه صورت معجزه محسوب می‌کنیم؟ بزرگ‌ترین تک رویدادی که

حاصل تصادف محض یا یک شانس اعجاز مانند باشد و با کنار گذاشتن آن از نظریه‌مان، باز بتوانیم ادعا کنیم که منشاء حیات را به‌طور قابل قبولی توضیح داده‌ایم، کدام است؟ برای این‌که میمونی به‌طور اتفاقی جمله Methinks it is like a weasel را درست بنویسد، خیلی شانس لازم است. با این حال می‌شود آن را اندازه گرفت. بر اساس محاسبه ما حالات نامحتمل در برابر آن، حدود ده هزار میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون ($۱۰^{۲۰}$) در مقابل ۱ است. واقعاً آدم نمی‌تواند تصوری از چنین عدد بزرگی داشته باشد و ما تقریباً این میزان از عدم احتمال را معادل غیرممکن در نظر می‌گیریم. گرچه ما نمی‌توانیم این حد از عدم احتمال را تصور کنیم ولی نباید از آن بترسیم و از خیرش بگذریم. عدد $۱۰^{۲۰}$ عدد بزرگی است با این حال آن را می‌نویسم و در محاسبه از آن استفاده می‌کنیم. اعداد بزرگ‌تر از آن هم وجود دارند مثلاً $۱۰^{۲۶}$ نه فقط بزرگ‌تر از آن است، بلکه باید ۱۰ را میلیون بار به خودش اضافه کنید تا $۱۰^{۲۶}$ به دست آید. معلوم نیست اگر قرار بود $۱۰^{۲۶}$ میمون با دستگاه‌های تایپ‌شان را جمع و جور کنیم چه باید می‌کردیم. خوب با هم ببینیم. یکی از آن‌ها با متانت عبارت Methinks it is a weasel را تایپ می‌کرد و دیگری هم احتمالاً جمله I think therefore I am را می‌نوشت. اما مسئله این است که ما نمی‌توانیم آن همه میمون را یک جا جمع کنیم. اگر همه مواد موجود در دنیا تبدیل به بدن میمون می‌شدند هم هنوز تعداد میمون‌ها کافی نبود. برای ما این‌که یک میمون Methinks it is a weasel را تایپ کند معجزه‌ای بزرگ است. و از نظر سنجش هم بیش‌تر از آن است که بتوانیم آن را در تئوری‌هایمان در ردیف رویدادهای واقعی منظور کنیم. ولی ما این را نمی‌دانستیم تا نشستیم و محاسبات مربوط به آن را انجام دادیم.

به این ترتیب درجاتی از شانس محض وجود دارد که تصور آن‌ها نه‌تنها برای مغز کوچک انسان بلکه برای منظور کردن در محاسبات بی‌روح ما درباره منشاء حیات

نیز بیش از حد بزرگ است. اما سؤال را تکرار می‌کنم، چه درجه‌ای از شانس، چقدر معجزه را می‌توانیم بدیهی فرض کنیم. نگذارید به خاطر بزرگی اعداد از پاسخ به آن طفره رویم. سؤال بسیار معناداری است و ما لااقل باید سعی کنیم ببینیم برای پاسخ به آن، چه اطلاعاتی نیاز داریم.

اکنون به فکر جالبی می‌رسیم. پاسخ به این سؤال – که تا چه حد شانس را می‌توانیم مسلم فرض کنیم – بستگی به این دارد که آیا حیات تنها در سیاره ما یا در همه جهان می‌تواند وجود داشته باشد. تنها چیزی را که به‌طور یقین می‌دانیم این است که زمانی این‌جا، روی همین سیاره ما حیات آغاز شد. ولی نمی‌دانیم که آیا در جاهای دیگر هم وجود دارد یا خیر. به احتمال زیاد در جاهای دیگر وجود ندارد. بعضی‌ها ادعا کرده‌اند که بر اساس محاسبات زیر حیات باید در جاهای دیگر جهان وجود داشته باشد (من فعلاً به نادرستی نظر آن‌ها اشاره نمی‌کنم). احتمالاً حداقل $۱۰^{۲۰}$ (یعنی صد میلیارد میلیارد) سیاره که مناسب برای پیدایش حیات است در جهان وجود دارد. ما می‌دانیم حیات در کره ما به وجود آمده بنابراین نمی‌توان گفت که کاملاً نامحتمل است. پس ناگزیریم بپذیریم که دست‌کم در بعضی از آن میلیاردها میلیارد سیاره احتمال دارد حیات وجود داشته باشد.

اشکال این استدلال در این نتیجه‌گیری است که چون حیات در کره زمین پیدا شده، نمی‌تواند وجودش در کُرات دیگر بسیار نامحتمل باشد. ملاحظه می‌کنید در این نتیجه‌گیری این فرض که هر چه در کره زمین پیش آمده، احتمال دارد که در جاهای دیگر جهان نیز رخ دهند مسلم در نظر گرفته شده است و پاسخ سؤال، بدیهی پنداشته می‌شود. به عبارتی، این نوع استدلالِ آماری که چون حیات در این‌جا وجود دارد، باید وجود آن در جاهای دیگر نیز مسلم انگاشته شود، قضیه‌ای را مسلم فرض می‌کند که خود می‌خواهد آن را اثبات کند. منظور این نیست که لزوماً باید آن نتیجه، یعنی وجود حیات در جاهای مختلف جهان نادرست باشد. به گمان من احتمالاً نظر صحیحی است. فقط منظور این است که استدلالی که منجر به چنان نتیجه‌ای شود

اصلاً استدلال نیست. فقط یک فرض است.

برای ادامه این بحث حالت دیگر را در نظر بگیریم و فرض کنیم که حیات تاکنون فقط یک بار و آن هم در روی زمین پیدا شده است. بر اساس نظر عاطفی زیر تمایلی برای مقابله با چنین فرضی وجود دارد. آیا از نظر شما به نحوی خیلی ابتدایی نیست؟ آدم را یاد زمانی می‌اندازد که کلیسا می‌آموخت زمین مرکز جهان است و همه ستارگان نقطه‌هایی کوچک و نورانی برای روشنایی دل ما هستند (یا حتی مسخره‌تر از آن‌که ستارگان می‌گَردند تا طالع ما انسان‌ها را رقم بزنند). چقدر باید خودخواه باشیم که فکر کنیم از آن همه میلیارد میلیارد سیاره‌ی جهان، تنها این گوشه‌ی پرت از دنیا، در گوشه‌ای پرت از یک منظومه شمسی، در گوشه‌ای پرت از یک کهکشان، به عنوان تنها سیاره برای ظهور حیات انتخاب شده است؟ چرا باید قرعه به نام سیاره ما می‌افتاد؟

من واقعاً متأسفم و باطناً سپاسگزارم که از زمان آن کوته‌نظری‌های کلیسای قرون وسطی دوریم و از طالع‌بین‌های امروزی هم بدم می‌آید، فقط می‌ترسم در واژه‌پردازیِ پاراگرافِ پیش، درباره‌ی گوشه‌ی پرتِ جهان، بی‌محتوا صحبت کرده باشم. شاید آن گوشه‌ی پرت مورد نظر، تنها سیاره‌ای باشد که تا به حال حیات را تجربه کرده است، و باید همین سیاره ما باشد به این دلیل موجه که این ما هستیم که این سؤال برایمان مطرح است. اگر پیدا شدن حیات آن‌چنان رویداد نادری است که فقط یک بار روی یک سیاره رخ داده، پس آن سیاره باید کره زمین ما باشد. بنابراین نمی‌شود از این اصل مسلم که روی زمین حیات وجود دارد نتیجه بگیریم که احتمال وجود حیات آن‌قدر هست که در کرات دیگر نیز یافت شود. چنین استدلالی دور خودش می‌چرخد. ما باید بحث مستقلی داشته باشیم درباره این‌که پیدایش حیات در یک سیاره تا چه حد آسان یا مشکل است، قبل از این‌که شروع به یافتن پاسخ این سؤال کنیم که در چند سیاره دیگر جهان حیات وجود دارد.

اما ما بحث را با این سؤال شروع نکردیم. سؤال ما این بود که در فرضیه‌ای درباره پیدایشِ حیات، چه اندازه شانس را می‌توانیم دخیل بدانیم. گفتیم پاسخ این سؤال بدان بستگی دارد که بدانیم حیات فقط یک بار پیدا شده باشد یا بیش از یک بار. کار را با گذاشتن نامی بر احتمال پیدا شدن حیات هر قدر هم که ضعیف باشد، در یک سیاره که اتفاقی انتخاب کرده‌اید شروع کنید. آن را شماره احتمال پیدایش خودبه‌خود حیات یا SGP[1] بنامید. اگر کتاب‌های شیمی را زیر و رو کنیم یا در آزمایشگاه از میان مخلوطی از گازهای جوی که ساخته‌ایم جرقه‌هایی عبور دهیم و در آن فضای سیاره‌ای فرضی احتمال پیدا شدن خودبه‌خود مولکول‌های تکثیر شونده را محاسبه کنیم به همین SGP می‌رسیم. فرض کنید دقیق‌ترین حدس ما از SGP عدد بسیار بسیار کوچکی مثلاً یک در میلیارد باشد. معلوم است این احتمال آن‌قدر ضعیف است که کمترین امید به بازسازی رویداد شگفت‌آور و معجزه‌مانندی مثل پیدایش حیات را نمی‌توانیم در آزمایش‌هایمان داشته باشیم. ولی چون در بحث مجاز هستیم اگر فرض کنیم حیات فقط یک بار در جهان پیدا شده، می‌شود به این نتیجه رسید که می‌توانیم شانس زیادی را در فرضیه‌مان منظور کنیم زیرا سیاره‌های زیادی در جهان وجود دارند که حیات ممکن بود در آن‌ها هم پیدا شود. اگر بر اساس یک برآورد، تعداد سیاره‌ها را صد میلیارد میلیارد بدانیم، این عدد صد میلیارد بزرگ‌تر از آن SGP ناچیزی است که مسلم فرض کردیم. در مجموع، قبل از این‌که بخواهیم نظریه‌ای درباره پیدایش حیات را رد کنیم، حداکثر مقدار شانسی را که مجازیم در نظر بگیریم برابر با یک روی N است. N تعداد سیاره‌های مناسب جهان است. از کلمه «مناسب» معانی مختلفی برداشت می‌شود. ولی حد بالا را در نظر گرفته و بیش‌تر احتمال شانس را در این بحث یک در صد میلیارد میلیارد فرض کنیم.

خوب به مفهوم آن‌چه می‌آید توجه کنید. ما پیش یک شیمیدان می‌رویم و به او می‌گوییم: مداد و ذهنت را تیز کن. از کتاب‌های آموزشی دستگاه‌های محاسبه

[1] Spontaneous generation probability.

استفاده کن، مُخات را پر از فرمول کن و فلاسکت را پر از متان و آمونیم و هیدروژن و دی‌اکسیدکربن و هر گاز دیگری که ممکن است روی یک سیاره‌ی ابتداییِ بی‌بهره از حیات باشد. همه‌ی این‌ها را با هم مخلوط کن و جرقه‌هایی از صاعقه و جرقه‌هایی از نیروی ذهنیت را از آن فضای ساختگی بگذران. از همه‌ی روش‌های دانش شیمی کمک بگیر و به ما دقیق‌ترین برآوردت را از احتمال این‌که به‌خودی‌خود روی یک سیاره‌ی نوعی، مولکول [همتاساز[۱]] تولید شود بگو. یا طور دیگر بگویم، بگو چقدر باید منتظر شویم تا به‌طور تصادفی فعل و انفعالات شیمیایی روی آن سیاره، مولکولی را بسازد که بتواند خود را تکثیر کند؟

شیمیدان‌ها پاسخ این سؤال را نمی‌دانند. احتمالاً بیش‌تر شیمیدان‌های امروزی خواهند گفت با معیار عمر انسان‌ها باید زمانی بسیار طولانی صبر کنی، اما شاید با معیار عمر جهان‌شناختی، زمان چندان زیادی لازم نیست. تاریخچه سنگواره‌های زمین حاکی از آن هستند که یک میلیارد سال – یا با این اصطلاح جدید یک aeon – برای این بازی وقت لازم داریم، زیرا فاصله‌ی زمانی بین پیدایش زمین در حدود ۴/۵ میلیارد سال پیش و عصر اولین سنگواره‌های موجودات آلی همین مدت است. اما نکته بحث ما درباره تعداد سیاره‌ها این است که اگر شیمیدان ما می‌گفت ما باید منتظر معجزه بمانیم یا میلیارد میلیارد سال صبر کنیم یعنی زمانی خیلی بیش‌تر از زمان پیدایش جهان، ما با متانت نظر او را می‌پذیرفتیم. احتمالاً در دنیا بیش از یک میلیارد میلیارد سیاره وجود دارد. اگر هر کدام از آن‌ها عمری به اندازه زمین داشته باشند حدود یک میلیارد میلیارد میلیارد سال وقت لازم داریم. این زمان فرصت خوبی است! با استفاده از محاسبه می‌شود معجزه را به سیاست‌های اجرایی تبدیل کرد.

یک فرض پنهان در این استدلال وجود دارد. البته فرض‌های زیادی وجود دارند ولی من می‌خواهم درباره یک فرض خاص صحبت کنم. وقتی‌که حیات (یعنی تکثیر

۱ [Self-replicating molecule]

شونده‌ها و انتخاب انباشتی) پیدا می‌شود، جهت حرکت آن طوری است که موجودات آن، آن‌قدر هوشمند می‌شوند که منشاء خود را مورد سؤال قرار دهند. اگر غیر از این باشد، ما باید آن شانسی را که مجازیم منظور کنیم، متناسب با آن کاهش دهیم. یا دقیق‌تر بگویم، حداکثر تعداد حالات غیرممکن برای وجود حیات در هر سیاره‌ای که نظریه‌های ما آن را مسلم فرض می‌کنند، برابر است با تعداد سیارات موجود در جهان، تقسیم بر تعداد حالات غیرممکنی که در آن حیات پیدا شده، در جهت تکامل خود، هوش کافی داشته باشد که درباره اصل خود اندیشه کند.

[ممکن است عجیب به نظر بیاید که] عبارت «هوش کافی داشته باشد که درباره اصل خود اندیشه کند» یک متغیر مرتبط باشد. برای درک این موضوع، فرض دیگری را در نظر بگیرید. تصور کنید پیدایش حیات رویدادی محتمل، ولی پیامد تکاملی آن، یعنی پیدایش هوش، اتفاق بسیار نامحتملی، نیازمند شانس بسیار بزرگ باشد. فرض کنید احتمال پیدایش هوش آن‌قدر کم است که فقط یک بار در جهان در سیاره‌ای پیش آمده است، حتی اگر حیات در چند سیاره دیگر هم وجود داشته باشد. به این ترتیب، از آن‌جا که ما می‌دانیم آن‌قدر باهوش هستیم که این سؤال برایمان مطرح است، متوجه می‌شویم که آن سیاره باید زمین باشد. حالا فرض کنید که پیدایش حیات و پیدایش هوش هر دو بسیار نامحتمل باشند. آن‌گاه احتمال این‌که سیاره‌ای، مثل زمین، از اصابت این هر دو بارقه‌ی شانس برخوردار شده باشد، بسیار بسیار کمتر است.

مثل این است که در نظریه‌ی [ما]، درباره پیدایش خود ما، مجاز باشیم سهم معینی [شانس] برایش قایل شویم. این نسبت در بالاترین حدش برابر است با تعداد سیاره‌های عالم. با این فرض که مقداری شانس وجود داشته، می‌توانیم آن را به عنوان یک امکان محدود، در طول دوره‌ای که پیدایش ما در آن صورت گرفته، صرف کنیم. اگر بخواهیم همه‌ی آن مقدار شانس را در اولین بخش تئوری ما که در مورد پیدایش حیات در یک سیاره است خرج کنیم، آن وقت برای بخش‌های دیگر

آن نظریه، مثلاً برای تکامل انباشتیِ مغز و هوش، شانس زیادی باقی نمی‌ماند. اگر بیش‌تر آن مقدار مجاز شانس را در مورد پیدایش حیات صرف نکنیم برای تئوری‌های ادامه آن یعنی برای بعد از راه افتادن انتخاب انباشتی هم مقداری شانس داریم. اگر بخواهیم بیش‌تر آن مقدار شانس را در مورد پیدایش هوش صرف کنیم، برای تئوری منشاء حیات چیزی نمی‌ماند: ما باید به نظریه‌ای برسیم که بر اساس آن حیات اجتناب‌ناپذیر است. یا اگر از شانسی که برای این دو مرحله در نظریه لازم داریم چیزی زیاد بیاید، می‌توانیم آن را برای فرض حیات در جای دیگر جهان اختصاص دهیم.

من شخصاً نظرم این است که وقتی انتخاب انباشتی به‌طور مناسبی به جریان افتاده باشد، بعد از آن برای تکامل حیات و هوش مقدار نسبتاً کمی شانس کافی است. انتخاب انباشتی آن‌قدر توانمند هست که باعث پیدایش هوش شود. و این یعنی اگر بخواهیم می‌توانیم همه آن شانس را یک جا در نظریه مربوط به منشاء حیات در یک سیاره صرف کنیم. بنابراین در اختیار ماست که آن را کجا خرج کنیم، اگر از آن در مورد تئوری پیدایش حیات استفاده کنیم در بالاترین حد یک بر روی صد میلیارد میلیارد (یا یک روی هر تعداد سیاره‌ای که فکر می‌کنید وجود دارد) است. این حداکثر مقدار شانسی است که می‌توان در این نظریه منظور کرد. فرض کنید می‌خواهیم پیشنهاد کنیم حیات وقتی شروع شده که هم‌زمان DNA و دستگاه‌های تکثیر پروتئین بنیادی آن به‌طور تصادفی و خودبه‌خود پیدا شده‌اند. در صورتی می‌توانیم، این‌چنین دست و دل باز، این تئوری اغراق‌آمیز را مطرح کنیم که موارد عدم احتمال چنین اتفاقی روی یک سیاره از صد میلیارد میلیارد نسبت به یک بیش‌تر نباشد.

این مقدار ممکن است زیاد به نظر بیاید. شاید برای فراهم آوردن امکان ظهور خودبه‌خود DNA یا RNA زیاد باشد. با این حال، برای این‌که بتوانیم بدون انتخاب انباشتی قضیه را در نظر بگیریم اصلاً کافی نیست. در مقابلِ طراحیِ خوبِ بدنی که

مانند پرستو پرواز یا به خوبی دولفین شنا کند یا به تیزبینی عقاب باشد در یک مرحله از انتخاب، تعداد حالات نامحتمل فوق‌العاده بیش‌تر از تعداد تمام اتم‌های جهان است. چه رسد به تعداد سیارات. شکی نیست که باید از وزنه قدرتمند انتخاب انباشتی در توضیح حیات استفاده کنیم.

اگر چه ما در نظریه منشاء حیات مجازیم سهمی برای شانس، مثلاً معادل یک بر صد میلیارد میلیارد، در نظر بگیریم، تصور من این است که فقط به مقدار کمی از آن نیاز است. شاید با معیارهای معمول یا درواقع معیارهای آزمایشگاه شیمی، احتمال پیدایش حیات در یک کُره خیلی ضعیف باشد و با وجود این آن‌قدر محتمل است که نه فقط یک بار بلکه چند بار در سراسر جهان پیش آمده باشد. می‌توان آن استدلال آماری درباره تعداد سیاره‌ها را به عنوان آخرین راه‌حل در نظر گرفت. در پایانِ این فصل به تناقض موجود فرضیه‌ای که ما به دنبالش هستیم اشاره خواهم کرد، چنین فرضیه‌ای درواقع لازم است نامحتمل یا حتی معجزه‌وار باشد. بر اساس قضاوت درون‌گرایانه ما (چون ساختار قضاوت درونی ما این‌طور است) با وجود این هنوز معنی‌دار است که کار را با یافتن فرضیه‌ای درباره پیدایش شروع کنیم که کمترین درجه عدم احتمال را داشته باشد. اگر فرضیه‌ای که بر اساسِ آن، DNA و دستگاه‌های نسخه‌برداری از آن همزمان ساخته شده‌اند، آن‌قدر نامحتمل باشد که مجبور شویم فرض کنیم وجود حیات بیش از حد نامحتمل و شاید منحصر به کره زمین باشد، اولین راه‌حل ما این است که به جستجوی فرضیه دیگری باشیم که بر اساس آن احتمال وجود حیات بیش‌تر باشد. به این ترتیب، آیا ممکن است به «حدس»هایی درباره راه‌های نسبتاً ممکن برای شروع انتخاب انباشتی برسیم؟

در واژه‌ی «حدس» معناهای تنزل دهنده‌ای وجود دارد، ولی در این بحث آن معناها مورد نظر نیست. وقتی ما درباره اتفاقاتی که چهار میلیارد سال پیش رخ داده صحبت می‌کنیم، چاره‌ای نداریم جز این‌که به حدس و گمان متوسل شویم. به علاوه این موضع درباره جهانی بسیار متفاوت با جهان امروز ماست. مثلاً به تقریب یقین

داریم در جو آن جهان اکسیژن آزاد وجود نداشته است. گرچه شیمی جهان ممکن است تغییر کرده باشد ولی قانون‌های شیمی عوض نشده‌اند (به همین دلیل قانون نامیده می‌شوند) و شیمیدان‌های امروز به اندازه کافی از آن قانون‌ها سر در می‌آورند که بتوانند حدس‌های هوشمندانه بزنند، حدس‌هایی که باید از آزمایش‌های دقیق و معتبری که آن قانون‌ها تحمیل می‌کنند سربلند بیرون آیند، نمی‌توان سرخود و بی‌مسئولیت حدس زد و ذهن را رها کرد تا مانند داستان‌های تخیلی درباره فضا از اکسیرهای رانش‌های عظیم، چرخش زمان و رانش‌های بی‌نهایتِ عدم احتمال سر در آورد. بیش‌تر حدس‌های احتمالی درباره منشاء حیات با قانون‌های شیمی سازگار نیستند و از دور خارج می‌شوند، حتی اگر ما از بحث آماری و تعداد سیاره‌ها بیش‌ترین استفاده را کرده باشیم، بنابراین مهم است که حدس انتخابی ما با دقت برگزیده شود. ولی برای این کار باید شیمیدان باشیم.

من زیست‌شناسم، نه شیمیدان و باید روی نظر شیمیدان‌ها حساب کنم. شیمیدان‌های مختلف نظریه‌های متفاوتی را قبول دارند و از این بابت هم کم کسری ندارند. من می‌توانستم همه آن نظریه‌ها را بی‌طرفانه مطرح کنم ولی چنین کاری به درد کتاب‌های درسی دانش‌آموزان می‌خورد. اما این کتاب برای دانش‌آموزان نیست. مفهوم اصلی *ساعت‌ساز نابینا* این است که لازم نیست برای درک حیات و چیزهای دیگر جهان رسامی داشته باشیم. به خاطر نوع خاص مسئله‌ای که با آن مواجهیم دل‌مشغولی ما در این‌جا نوع راه‌حلی است که باید پیدا کنیم. من فکر می‌کنم این را نه با بررسیِ تعداد زیادی نظریه، بلکه با توجه به "یک" نظریه به عنوان نمونه‌ای از چگونگی مسئله اصلی – راه افتادن انتخاب انباشتی – می‌توان حل کرد.

حالا به عنوان نمونه کدام نظریه را انتخاب کنیم؟ بیش‌تر کتاب‌های درسی روی گروهی از نظریه‌ها که بر اساس «سوپ آلی آغازین» (primeval soup) است تکیه می‌کنند. ظاهراً قبل از پیدایش حیات، جو زمین مانند وضع فعلی سیارات دیگر بی‌جان بوده، اکسیژن وجود نداشته ولی دی‌اکسیدکربن زیاد بوده است و به احتمال

قوی مقداری آمونیم، متان و گازهای آلی دیگر وجود داشته است. شیمیدان‌ها می‌دانند که چنین آب و هوای بدون اکسیژنی باعث پیدایش سریع خودبه‌خود ترکیبات آلی می‌شود. آن‌ها در محفظه‌هایی شرایط هوای دوران ابتدایی زمین را بازسازی کرده‌اند. از آن محفظه جرقه‌های الکتریکی شبیه برق آسمانی و پرتو فرابنفش را عبور داده‌اند که شدت این‌ها، قبل از پیدایش لایه اوزون، که مانند سپری محافظ در مقابل نور خورشید است، احتمالاً خیلی بیش‌تر از وضعیت فعلی بوده است. نتیجه آزمایش‌ها هیجان‌آور بود. از مولکول‌های آلی همان نوعی که در جانداران یافت می‌شود، در آن محفظه‌ها پیدا شدند. نه DNA پیدا شد نه RNA ولی سنگ بنای این دو مولکول بزرگ – که purines و pyrimidines نامیده می‌شوند – به وجود آمدند. به این ترتیب سنگ بنای پروتئین‌ها و اسیدهای امینه به وجود آمد. البته هنوز منشاء تکثیر حلقه گمشده این دسته از فرضیه‌هاست. این سنگ بناها طوری کنار هم قرار نگرفتند که زنجیر خود تکثیر شونده‌ای مانند RNA تشکیل دهند. شاید روزی این کار را بکنند.

در هر صورت آن فرضیه‌ای که من می‌خواهم برای تشریح آن نوع راه‌حلی که ما به دنبال‌اش هستیم استفاده کنم فرضیه سوپ آلی آغازین نیست. من از این فرضیه در کتاب اولم *ژن خودخواه* استفاده کرده‌ام. به همین علت فکر کردم بد نیست این‌جا بادبادک دیگری هوا کنم و براساس نظریه‌ای که کمتر رایج است (اگرچه این روزها دارد طرفدارانی پیدا می‌کند) و به نظر من احتمال بیش‌تری دارد که درست باشد استفاده کنم. صراحت آن خوشایند است و آن ویژگی‌هایی که تئوری قابل توجیه درباره منشاء حیات باید داشته باشد را دارد. این، نظریه «مواد معدنی غیرآلی» است که توسط شیمیدان اهل گلاسکو به نام Graham Carins-Smith اولین بار بیست سال پیش مطرح شده و از آن زمان تاکنون روی این نظریه در سه کتاب کار کرده است و در آخرین کتابش، *هفت نشانه پیدایش حیات* طوری به منشاء حیات برخورد می‌کند که انگار معمایی پلیسی است و یک «شرلوک هولمز» لازم است تا آن را حل

کند.

دیدگاه *کایرنس – اسمیت* در مورد DNAی دستگاه‌های پروتئین‌ساز این است که احتمالاً نسبتاً این اواخر، مثلاً حدود سه میلیارد سال پیش به وجود آمده‌اند. قبل از آن نسل‌های زیاد از انتخاب انباشتی براساس موجودات تکثیر شونده‌ی کاملاً متفاوتی وجود داشته‌اند. وقتی DNA به وجود آمد، چنان در تکثیر نسخه‌هایی از خود کارآمد بود که آن نظام تکثیر اولیه را که باعث ایجادش شده بود از دور خارج کرد. براساس این دیدگاه، ماشین‌آلات جدیدتری از DNA پیدا شدند و جای تکثیر شونده‌های اولیه را غصب کردند، که آن‌ها خود نیز به زور جانشین یک تکثیر شونده خام‌تر و ابتدایی‌تر شده بودند. ممکن است یک سری از چنین جانشینی‌هایی وجود داشته باشند اما آن روند تکثیر اولیه باید به اندازه کافی ساده بوده باشد که از طریقی که من لقب انتخاب تک مرحله‌ای به آن داده‌ام، پیدا شده باشد.

شیمیدان‌ها مطلب‌شان را به دو بخش عمده آلی و غیرآلی تقسیم می‌کنند. شیمی آلی، شیمی یک عنصر خاص یعنی کربن است. شیمی غیرآلی، شامل همه موضوعات دیگر می‌شود. اهمیت کربن باعث شده که شاخه‌ای از شیمی به آن اختصاص داده شود. علتش تا حدی این است که شیمیِ حیات، همه‌ش شیمی کربن است و تا اندازه‌ای چون آن ویژگی‌هایی که شیمی کربن را مناسب حیات می‌کنند، آن را مناسب فرایندهای صنعتی مانند صنایع پلاستیک نیز کرده‌اند. آن مشخصه ضروری اتم‌های کربن که آن را مناسب حیات و ترکیبات صنعتی می‌کند این است که آن‌ها طوری به یکدیگر می‌پیوندند که رشته‌ای بی‌انتها از انواع مختلف مولکول‌های خیلی درشت می‌سازند. عنصر دیگری که دارای بعضی از این ویژگی‌هاست سیلیکون است. گرچه شیمی حیات زمینی امروزی همه‌اش شیمی کربن است، ممکن است در همه دنیا و روی زمین همیشه چنین نبوده باشد. «کایرنس اسمیت» معتقد است که حیات اولیه در این کُره بر اساس بلورهای غیرآلیِ خودتکثیری چون سیلیکات‌ها بوده است. اگر این نظر صحیح باشد، باید بعد از

آن‌ها، تکثیر شونده‌های آلی و سرانجام DNA این نقش را به عهده گرفته باشند.

وی برای موجه کردن این جانشینی‌ها دلایلی ارائه می‌کند. یک طاق سنگی دارای ساختار محکم می‌تواند سال‌ها دوام بیاورد، حتی وقتی سیمانی نباشد که آن را قوام دهد. ساختن یک ساختار پیچیده طی مسیر تکامل مانند ساختن یک طاق بدون ملاط است که فقط هر بار می‌توان سنگی به آن اضافه کرد. کاری نیست که یک خام دست بتواند آن را به سرانجام برساند. وقتی آخرین سنگ نصب شد، طاق کاملاً مستحکم است ولی در ضمن ساخته شدن استوار نیست. ساختن چنین طاقی در صورتی آسان است که به جای افزودن سنگ‌ها بخواهید یکی‌یکی آن‌ها را کم کنید. ابتدا باید توده‌ای از سنگ فراهم آورد و بعد طاق را روی آن پایه محکم بنا کرد. سپس وقتی‌که طاق کامل شد و همه سنگ‌های مهم بالای آن کار گذاشته شدند، آهسته سنگ‌های حمایتی را می‌توان برداشت. با کمی شانس طاق در جای خود خواهد ماند. برای مجسم کردن این حایل سنگی ببینید چطور در ساختمان‌ها از داربست یا از سطوح شیب‌دار گِلی که بعداً برداشته می‌شوند استفاده می‌کنند. ما فقط محصول نهایی را می‌بینیم و از روی آن به وجود داربستی که برداشته شده پی می‌بریم. DNA و پروتئین هم به طریق مشابه دو پایه‌ی یک طاق زیبا و محکم‌اند که وقتی پابرجا می‌ایستند که همه قسمت‌هایش وصل شده باشند. تصور این‌که چنین چیزی از مراحل گام‌به‌گام پیدا شده باشد بعید به نظر می‌رسد، مگر این‌که آن داربست اولیه کاملاً ناپدید شده باشد. خود آن داربست باید حاصل یک فرایند انتخاب انباشتی قبلی باشد که در مورد چگونگی‌اش ما فقط می‌توانیم گمانه‌زنی کنیم. ولی باید براساس ماهیت‌های خود تکثیری توانایی تأثیر روی آینده خود داشته باشد.

حدس *کایرنس-اسمیت* این است که تکثیر شونده‌های نخستین، بلورهای مواد غیرآلی بوده‌اند، مانند آن‌ها که در خاک رُس و گِل یافت می‌شوند. بلور چیزی نیست جز ترتیب منظمی از یک مجموعه اتم یا مولکول به صورت جامد. به خاطر این ویژگی‌ها است که ما می‌توانیم آن را «شکل» محسوب کنیم. در اتم‌ها و مولکول‌های

کوچک به‌طور طبیعی این تمایل وجود دارد که به صورت منظم و ثابتی به یکدیگر بچسبند. تقریباً طوری‌که گویی می‌خواهند به صورت خاصی به هم چفت و بست شوند، ولی ویژگی‌های آن‌هاست که این تصور را ایجاد می‌کند. طریقه چفت و بستی که آن‌ها ترجیح می‌دهند داشته باشند شکل کلی بلور را می‌سازد. این بدان معنی نیز هست که حتی در یک بلور درشت مانند الماس نیز هر بخش بلور دقیقاً مانند بخش‌های دیگر است، مگر در آن‌جاها که لک‌ها (flaws) وجود دارند. اگر ما می‌توانستیم خود را در حد اتم کوچک و فشرده کنیم، می‌توانستیم ردیف‌های پایان‌ناپذیر اتم‌ها را که در خطوط مستقیم تا دور دست‌ها ادامه دارند ببینیم – نمایشگاه‌هایی از تکرار نقش‌های هندسی.

چون موضوع مورد نظر ما تکثیر است، اولین چیزی که باید بدانیم این است که آیا بلورها می‌توانند ساختار خود را تکرار کنند؟ بلورها از ده‌ها هزار لایه اتم (یا معادل آن) ساخته شده‌اند و هر لایه روی لایه قبل قرار دارد. اتم‌ها (یا یون‌ها، تفاوت آن‌ها در این‌جا مهم نیست) در محلول اطراف خود شناورند و اگر به‌طور تصادفی به بلوری برخورد کنند، تمایل دارند که به سطح آن بلور بچسبند. محلول نمکِ معمولی شامل یون‌های سدیم و کلر است که به صورت کمابیش نامنظمی در جنبش‌اند. بلور نمکِ معمولی مجموعه‌ی منظمی از ردیف‌های سدیم و کلر است که با زاویه قائمه نسبت به یکدیگر یک در میان روی هم قرار گرفته‌اند. وقتی یون‌های شناور در آب به‌طور اتفاقی به سطح سخت بلور برمی‌خورند، تمایل دارند که به آن بچسبند. و درست به آن جایی می‌چسبند که باعث می‌شود لایه جدیدی، درست مانند لایه‌های قبلی، به بلور اضافه شود. به این ترتیب بلور رشد می‌کند به‌طوری‌که هر لایه مانند لایه‌ی زیر خود می‌شود.

گاهی خودبه‌خود در محلول، بلورها تشکیل می‌شوند. گاهی لازم است به وسیله ذرات بخار یا به وسیله بلوری که از جای دیگر در آن انداخته می‌شود «بذر افشانی» شوند. *کایرنس-اسمیت* ما را به انجام آزمایش زیر دعوت می‌کند. مقدار زیادی از

فیکسر (هیپو)، داروی ثبوت عکاسی، را در آب خیلی داغ حل کنید، بعد بگذارید محلول سرد شود، مواظب باشید هیچ گرد و غباری داخل آن نشود. آن وقت محلول کاملاً اشباع شده و آماده و منتظر است که بلور بسازد. ولی هیچ هسته بلوری وجود ندارد که باعث شود کار جریان بیفتند. من قسمت زیر را از کتاب *هفت نشانه پیدایش حیات* نوشته *کایرنس-اسمیت* نقل می‌کنم:

> با احتیاط سرپوش ظرف کیمیاگری را بلند کنید. یک تکه کوچک از بلور «ثبوت» را به سطح محلول بیندازید و تماشا کنید چه اتفاقی رخ می‌دهد. رشد بلور را می‌توانید ببینید. هر از گاهی آن بلور خرد می‌شود و قطعه‌های آن دوباره رشد می‌کنند. ظرف خیلی زود پر از بلورهایی می‌شود که بعضی چند سانت طول دارند. بعد از چند دقیقه این جریان متوقف می‌شود. محلول جادویی خاصیتش را از دست می‌دهد. اگر بخواهید یک بار دیگر آن جریان را ببینید باید ظرف را دوباره گرم و سپس سرد کنید... کاملاً اشباع شده یعنی بیش از حد لازم چیزی در مایعی حل شود... درواقع می‌شود گفت که آن محلول کاملاً اشباع شده‌ی سرد شده، نمی‌دانست چکار باید بکند. با اضافه کردن یک قطعه بلوری که قبلاً واحدهای میلیاردها میلیارد واحدی خودش را به صورتی چفت و بست کرده که مناسب بلورهای «داروی ثبوت» است، به آن می‌گوییم چکار باید کند. باید آن محلول دارای هسته مرکزی شود.

بعضی مواد شیمیایی توانایی آن را دارند که به یکی از دو صورت زیر متبلور شوند. مثلاً، گرافیت و الماس هر دو بلورهای خالص کربن‌اند. اتم‌هایشان مانند هم است. تفاوت این دو ماده فقط در الگوی هندسی قرار گرفتن اتم‌های کربن آن‌هاست. در الماس، الگوی اتم‌های کربن چهار ضلعی و بسیار پایدار است. به همین دلیل الماس بسیار سخت است. در گرافیت، اتم‌های کربن به صورت شش ضلعی‌های تختی است که روی هم قرار گرفته‌اند و به همین دلیل لغزنده است و به عنوان لغزاننده کاربرد دارد. متأسفانه نمی‌توان با بذرافشانی در مایعی مانند محلول داروی ثبوت بلور الماس را ساخت. اگر می‌شد، ثروتمند می‌شدیم، ولی نه نمی‌شدیم زیرا همه هم

همین کار را می‌کردند.

خوب حالا فکر کنید که محلول کاملاً اشباع شده‌ای مانند محلول داروی ثبوت داریم که در آن تمایل به بلور شدن وجود دارد و مانند کربن می‌تواند به یکی از دو صورت متبلور شود. یک صورت این است که چیزی شبیه گرافیت شود، اتم‌ها به صورت لایه‌هایی نظم پیدا کنند و بلورهای تخت کوچکی بسازند. صورت دیگر این است که بلورها دارای حجم و الماس‌مانند باشند. با دقت بیش‌تر، توضیح *کایرنس-اسمیت* درباره محلول «ثبوت» را شرح می‌دهیم که چه اتفاقی می‌افتد. شما با چشم گشاد شده آن‌چه را که رخ می‌دهد، تماشا می‌کنید. دو بلورِ شما به‌طور کاملاً آشکار رشد می‌کنند. گاهی به قطعات کوچک‌تر شکسته شده، دوباره رشد می‌کنند. بلورهای تخت، جمعیتی از بلورهای تخت را و بلورهای حجمی جمعیتی از بلورهای حجمی را می‌سازند. اگر برای هر یک از آن دو صورت بلور، این تمایل وجود داشته باشد که سریع‌تر از آن صورت دیگر رشد کرده و جدا شود، ما را با یک مورد ساده انتخاب طبیعی مواجه کرده است. اما این جریان برای این‌که بتواند تغییر تکاملی به وجود آورد هنوز چیز مهمی کم دارد. آن چیز تنوع وراثتی یا چیزی معادل آن است. به جای فقط دو صورت از بلور باید طیفی از انواع زیر گونه‌های فرعی وجود داشته باشد که دودمانی از شکل‌های مشابه را تشکیل می‌دهند و گاهی جهش یافته و شکل‌های جدید تولید می‌کنند. آیا در بلورهای واقعی نیز چیزی در ارتباط با جهش وراثتی نهفته است؟

خاک و گِل و سنگ از بلورهای ریز ساخته شده‌اند. روی زمین زیادند و شاید همیشه بوده‌اند. وقتی با میکروسکوپ الکترونی به سطح انواع گل یا مواد معدنی دیگر نگاه کنیم منظره‌ای تعجب‌آور و بدیع می‌بینیم. بلورها مانند ردیف‌های گل یا کاکتوس‌ها رشد می‌کنند. باغی است از گل‌های غیرآلی، مارپیچ‌های ریزی که شبیه برش عرضی گیاهان گوشتی‌اند، اعضای لوله‌ای سیخ سیخی و شکل‌های زاویه‌دار پیچیده‌ای که مانند مینیاتور بلورین چیزهایی هستند که با تا کردن کاغذ ساخته

می‌شود و یا پیچ و تاب‌های درهمی به شکل کرم یا مانند خمیردندانی که از لوله بیرون زده باشد. این طرح‌های منظم را اگر با بزرگ‌نمایی بیش‌تری نگاه کنیم شگفت‌آورترند. در درجه‌ای از بزرگ‌نمایی که جایگاه واقعی اتم‌ها را نشان می‌دهد، در سطح بلور همه آن نظمی را که در یک پارچه‌ی جناقی پشمی ماشین بافت است می‌بینید. اما – نکته مهم این است – لک‌هایی وجود دارد. درست وسط آن طرح جناقی منظم، چیزی، وصله مانند، وجود دارد که طرحش مثل دیگر قسمت‌ها جناقی است ولی آن تکه طوری است که انگار طرح دوران کرده و جهت خطوط آن تغییر کرده باشد. یا ممکن است جهت خطوط همان باشد ولی در هر ردیف به اندازه نصب یک ردیف کج شده باشد. تقریباً همه‌ی بلورهایی که به صورت طبیعی به وجود می‌آیند لک‌هایی دارند. وقتی لکی پیدا شد، به همان شکل در لایه‌های بعدی بلوری که رویش تشکیل می‌شوند تکرار می‌گردد.

در هر جای سطح بلور ممکن است آن اشکال پیدا شود. اگر علاقه‌مند باشید به ظرفیت نگهداری اطلاعات توجه کنید (من علاقه‌مندم)، می‌توانید تعداد بسیار زیاد طرح‌های مختلف لک‌ها را که ممکن است بر سطح بلورها رخ دهد در نظر بگیرید. همه آن محاسباتی را که درباره جا دادن کتاب عهد جدید در DNAی یک باکتری بود را تقریباً به همان صورت می‌توان برای هر بلور انجام داد. آن‌چه DNA بیش‌تر از بلورهای معمولی دارد وسیله‌ای است که با آن اطلاعاتش خوانده می‌شود. اگر موضوع خوانش را کنار بگذاریم، به راحتی می‌توان یک رمز قراردادی درست کرد و با استفاده از آن لک‌های ساختار اتمی بلورها را با اعداد دوگانه نشان داد. آن وقت می‌توان چند کتاب عهد جدید را در یک بلور معدنی در سر یک سوزن جا داد. در یک مقیاس بزرگ‌تر با چنین روشی اطلاعات موسیقی روی سطح لیزری لوح فشرده ذخیره می‌شود. کامپیوتر آن نت‌های موسیقی را به اعداد دوگانه تبدیل می‌کند. با استفاده از لیزر، طرح آن لک‌های کوچک روی سطح صاف شیشه‌مانندِ لوح، حک می‌شود. هر گودی کوچک حک شده به یک (یا صفر، برچسب‌ها دلخواهی است)

مربوط می‌شود. وقتی لوح را در دستگاه می‌گذارید، اشعه لیزری دیگری طرح آن لک‌ها را می‌خواند و کامپیوتر خاصی که در آن دستگاه کارسازی شده است، آن اعداد دوگانه را به ارتعاش صوتی تبدیل می‌کند که بلند شده و قابل شنیدن می‌شوند.

گرچه امروز لوح‌های فشرده بیش‌تر برای موسیقی به کار می‌روند، می‌توانید همه دایرةالمعارف بریتانیکا را روی یکی از آن‌ها ذخیره کنید و با استفاده از همان تکنولوژی لیزری آن را بخوانید. لک‌هایی که در سطح اتم بلورها هستند خیلی کوچک‌تر از گودی‌های حک شده در سطوح لوح فشرده‌اند، بنابراین بلورها در سطوح برابر، می‌توانند اطلاعات بسیار بیش‌تری را جا دهند. مولکول‌های DNA، که ظرفیتشان برای ذخیره اطلاعات حیرت‌آور است، درواقع چیزی نزدیک به خود بلورها هستند. اگرچه بلورهای خاک‌رُس براساس اصول نظری می‌توانند، مانند DNA یا لوح فشرده، مقدار زیادی از اطلاعات را در خود نگه دارند، ولی تاکنون کسی ادعا نکرده که آن‌ها این کار را می‌کنند. گِل رُس و دیگر بلورهای معدنی در این نظریه نقش تکثیر شونده‌هایی ابتدایی را دارند که با تکنولوژی ساده‌ای عمل می‌کنند، چیزی که سرانجام DNA با تکنولوژی پیشرفته خود جایش را غصب می‌کند. آن‌ها به‌طور خودانگیخته در آب‌های سیاره ما تشکیل می‌شوند بدون این‌که نیازی به دستگاه‌های دقیق مورد استفاده DNA داشته باشند، و خودبه‌خود لک‌ها را به وجود می‌آورند که بعضی از آن‌ها در لایه‌های بعدی آن بلور ممکن است تکرار شوند. اگر قطعاتی که لک دارند بعداً شکسته شوند، می‌توانیم آن‌ها را مانند بذرهایی برای بلورهای جدید در نظر بگیریم که هر کدام الگوی لک والد خود را به ارث برده است.

بنابراین ما یک تصویر ذهنی از بلورهای دوران اولیه زمین داریم که بعضی از ویژگی‌های تکرار و تکثیر، توارث و جهش را، که برای راه افتادن انتخاب انباشتی لازم است دارد. هنوز وجود آن جزء غایب، «قدرت» لازم است: طبیعت تکثیر شونده باید طوری باشد که روی احتمال تکثیر خود تأثیر بگذارد. ما وقتی به‌طور انتزاعی از تکثیر شونده‌ها صحبت می‌کنیم، متوجه می‌شویم که آن «قدرت» ممکن است فقط

ویژگی‌های خود آن تکثیر کننده باشد، مثل «چسبندگی» که یک ویژگی ذاتی است و در این سطح ابتدایی، واژه «قدرت» خیلی مناسب به نظر نمی‌رسد. علت استفاده از این واژه به این خاطر است که این واژه‌ی به‌جایی برای مراحل بعدی تکامل است. مثلاً قدرت دندان زهرآلود مار (با اثر غیرمستقیمی که روی بقای مار دارد) وسیله‌ای برای پراکندن رمز DNAی آن دندان است. ما حدس می‌زنیم آن اولین تکثیر شونده‌ها با تکنولوژی ابتدایی خود چه بلورهای معدنی باشند چه پیشقراولان آلی خود DNA، آن «نیرویی» که به کار می‌گرفتند مانند چسبندگی ابتدایی و بی‌واسطه بود. اهرم‌های پیشرفته قدرت، مثل نیش مار یا گل ثعلب خیلی دیرتر پیدا شدند.

در مورد خاک‌رس «قدرت» چه مفهومی دارد؟ کدام ویژگی اتفاقی آن خاک می‌تواند روی احتمال این‌که آن نوع از خاک بیش‌تر دور و بر شهر پراکنده شود تأثیر بگذارد؟ گل از سنگِ بناهای شیمیایی مانند اسید سیلیسیم و یون‌های فلز، که بر اثر هوازدگی سنگ‌های بالادست‌تر در آب رودخانه‌ها و جویبارها حل شده‌اند تشکیل می‌شود. اگر شرایط مناسب باشد دوباره در جایی پایین‌تر از آن رود متبلور شده و به صورت گِل در می‌آید. (در این‌جا منظور از رود درواقع بیش‌تر آب‌های زیرزمینی است که چکه‌چکه نفوذ می‌کنند نه یک رودخانه جوشان و خروشان. ولی من برای راحتی از واژه فراگیر رود، استفاده کرده‌ام.) برای این‌که بلور گِل خاصی تشکیل شود، علاوه بر چیزهای دیگر، سرعت و الگوی جریان آب در آن نقش دارد. هرچند رسوبات گِل هم می‌توانند روی چگونگی جریان آب تأثیر بگذارند. رسوبات سطح، شکل و بافت زمینی را که رود در آن جریان دارد تغییر می‌دهند. نوعی از گِل را در نظر بگیرید که به‌طور اتفاقی خاصیتی دارد که باعث تغییر ساختار خاک می‌شود. پیامد آن این است که آن گِل بیش‌تر شسته و برده می‌شود. طبق تعریف، این نوع گِل موفق نیست. نوع دیگری از گِل ناموفق آن است که جریان را طوری تغییر دهد که به نفع رقیب تمام شود.

البته نمی‌خواهیم بگوییم که گِل به فکر بقای خود است. همواره صحبت از

پیامدهای اتفاقی ویژگی‌های آن‌ها است؛ رویدادهایی که ناشی از خواصِ اتفاقیِ آن تکثیر شونده‌اند. حال نوع دیگری از گِل را در نظر بگیرید. این نوع طوری است که جریان آب را کُند می‌کند، به صورتی که ته‌نشین همان نوع گِل زیادتر می‌شود. معلوم است که این نوع دوم بیش‌تر دیده می‌شود، زیرا جریان آب را به نفع خودش تغییر می‌دهد. ولی تا این‌جا فقط با انتخاب تک مرحله‌ای سروکار داریم. آیا ممکن است نوعی انتخاب انباشتی راه بیفتد؟

برای این‌که کمی دورتر را بررسی کنیم، نوعی گِل رس را فرض کنید که احتمال ته‌نشین شدن خود را با سد کردن مسیر رود بیش‌تر کند. این پیامدِ ناخواسته‌ی ساختارِ آن نوع گِل است. در هر رودی که از این نوع گِل باشد، حفره‌های گود کم‌عمقی در رود تشکیل می‌شود و جریان اصلی آب به مسیرهای جدید منحرف می‌گردد. در این گودال‌های آب ساکن، بیش‌تر همان نوع گِل رسوب می‌کند. یک رشته از چنین گودال‌های کم‌عمق پشت سر هم در امتداد هر رودی که با بلورهای این نوع گِل هسته‌دار شده باشند پیدا می‌شود. بعد چون جریان اصلی آب منحرف شده، در فصل گرما گودال‌های کم عمق خشک می‌شوند. گِل رس زیر آفتاب خشک می‌شود و ترک بر می‌دارد و لایه‌های روی آن به صورت گرد و خاک پراکنده می‌شوند. به هر ذره آن گِل خصوصیات ساختار پدر یا مادرش که سد می‌ساخت به ارث می‌رسد. در مقایسه با اطلاعات ژنی که از درخت بید باغ من روی زمین در کانال می‌افتاد، می‌توان گفت که آن ذرات گرد و غبار هم دستورالعمل طرز ساخت سد بر رود و در نتیجه ایجاد گرد و خاک بیش‌تر را دارند. باد خاک را به همه طرف پخش می‌کند و این شانس خوب وجود دارد که بعضی ذرات آن نوع رس اتفاقی وارد جویباری شوند که قبلاً از این نوع در آن نبوده است. وقتی این نوع گِل وارد آن می‌شود، رود جدید شروع می‌کند به پرورش بلورهای آن خاک رسِ سدساز و دوباره همه آن چرخه که ته‌نشین شدن، سد شدن، خشک شدن و پراکنده شدن است تکرار می‌شود.

نمی‌توان این چرخه را «[چرخه] حیات» نامید ولی به هر حال نوعی چرخه است و از نظر توانایی در به کار انداختن انتخاب انباشتی با چرخه‌ی حیات واقعی چیزهای مشترکی دارد. چون رودها تحت تأثیر «بذر» غبارِ رودهای دیگر واقع می‌شوند، می‌توانیم آن‌ها را به صورت «اجداد» و «فرزندان» در نظر بگیریم. گِلی که در رود B گرفتگی ایجاد می‌کند، به صورت ذرات گَرد از رود A آمده است. سرانجام، گودال‌های رود B هم خشک و به گَرد و خاک تبدیل می‌شوند و وارد رودهای F و P می‌شوند. با در نظر گرفتن سرچشمه آن خاکِ رسِ سدساز، می‌توان رودها را به صورت یک شجره‌ی خانوادگی تنظیم کرد. هر رود که تحت تأثیر قرار گرفته، یک رود والد دارد و آن رود والد ممکن است بیش از یک رود فرزند داشته باشد. هر رود مانند یک بدن است که رشدش تحت تأثیر دانه‌های گرد و خاک، ژن‌ها، است و سرانجام ذرات جدیدی از گَرد را می‌پراکند. در این چرخه، هر نسل از وقتی شروع می‌شود که بلورها خُرد گشته و از رود اصلی به صورت گرد و خاک جدا می‌شوند. ساختار بلورین هر ذره‌ی گَردِ آن گِل عیناً از روی گِل موجود در رود والد نسخه‌برداری شده است. رود والد آن ساختار بلورین را به رود فرزند یعنی به جایی که در آن رشد می‌کند و تکثیر می‌شود منتقل می‌کند و سرانجام دوباره «بذرش» را می‌پراکند.

ساختار اجدادی بلورها نسل‌ها حفظ می‌شود، مگر آن‌که گاهی که در رشد بلور اشتباهی رخ دهد و باعث شود در الگوی معمولی قرار گرفتن اتم‌ها تغییر پیش بیاید. لایه‌های بعدی آن بلور از آن شکل‌ها نسخه‌برداری می‌کنند و اگر آن بلور بشکند و دو قسمت شود، زیر مجموعه‌ای از بلورهای تغییر یافته ایجاد می‌شود. حال اگر آن تغییر باعث شود آن بلور در چرخه‌ی سد کردن، خشک شدن، فرسایش مؤثرتر یا بی‌اثرتر عمل کند، نتیجه روی تعداد نسخه‌برداری‌ها از آن، در نسل‌های بعد تأثیر خواهد گذاشت. مثلاً بلور تغییر یافته ممکن است زودتر بشکند (تولید مثل کند). گِلی که از بلورهای تغییر یافته ساخته شده ممکن است در سد کردن توانایی بیش‌تری داشته

باشد. ممکن است در زیر آفتاب زودتر ترک بردارد. ذرات غبارش ممکن است مثل کرک دانه بید بهتر همراه باد پراکنده شوند. بعضی از انواع بلورها ممکن است باعث کوتاه‌تر شدن «چرخه حیات» شده و در نتیجه سرعت تکامل‌شان را بیش‌تر کنند. برای نسل‌های بعدی فرصت زیاد وجود دارد که در انتقال به نسل‌های آینده به تدریج «بهتر» شوند. به عبارت دیگر، موقعیت‌های زیاد برای راه افتادن یک انتخاب انباشتی حاشیه‌ای وجود دارند.

این پرش‌های کوچک خیال، شاخ و برگ‌های افزوده به افکار *کایرنس – اسمیت* فقط شامل یکی از چند نوع «چرخه حیات» مواد معدنی می‌شود که می‌توانستند نقطه شروع انتخاب انباشتی در مسیر تعیین کننده‌اش باشند. بعضی انواع دیگر بلور نیز وجود دارند. گونه‌های مختلف بلور ممکن است به رودهای جدید راه یابند، ولی نه از طریق خرد شدن و به شکل ذره و بذر در آمدن، بلکه با تقسیم کردن رود به تعداد زیادی رودهای کوچک‌تر که پخش شده و وارد مسیرهای جدید می‌گردند. بعضی گونه‌ها ممکن است آبشارهایی بسازند که سنگ‌ها را زودتر بفرسایند به این ترتیب مواد خام را برای ساختن گِل در جویبارهای پایین دست سریع‌تر فراهم آورند. برتری بعضی از گونه‌های بلور را ممکن است نسبت به گونه‌های رقیب با سخت کردن شرایط برای رقبا در دستیابی به مواد خام به دست آورد. بعضی گونه‌ها ممکن است با خرد کردن گونه‌های رقیب و استفاده از آن به عنوان مواد خام برای خود، گونه «غالب» به شمار آیند. فراموش نکنید که چه در این‌جا و چه در حیات امروزی که برمبنای DNA است بحث از تدبیر ارادی نیست. زیرا در جهان به صورت خودکار این تمایل وجود دارد که پر از انواعی گِل (یا DNA) شود که به‌طور اتفاقی ویژگی‌هایی دارند که باعث می‌شوند بیش‌تر دوام بیاورند و گونه خود را بپراکنند.

اکنون وارد مرحله‌ی دیگری از این بحث می‌شویم. بعضی از خانواده‌های بلور در تسهیل ترکیب مواد جدیدی که به آن‌ها در ماندگاریشان کمک می‌کنند نقش دارند. این مواد ثانویه برای خود دودمان و خانواده و رابطه «والد – فرزند» ندارند ولی

توسط هر نسل جدید از تکثیر شونده‌ها دوباره ساخته می‌شوند. می‌توانیم آن‌ها را چیزی مانند ابزار تکثیر دودمان بلورها و آغاز «فنوتیپ» اولیه در نظر بگیریم. «کابرنس – اسمیت» معتقد است که مولکول‌های آلی، در میان «ابزارهای» غیرخود–تکثیر بلورهای تکثیر شونده غیرآلی، غالب محسوب می‌شوند. مولکول‌های آلی به خاطر تأثیری که بر روانی خمیرها و خرد شدن یا رشد ذرات غیرآلی دارند به تعداد زیاد در صنایع مواد شیمیایی غیرآلی به کار می‌روند: درست همان نوع تأثیری که می‌توانست موفقیت دودمان بلورهای تکثیر شونده را به همراه داشته باشد. مثلاً یک نوع خاک معدنی با نام زیبای مونتموری‌لونیت[۱] در مجاورت مقدار کمی از مولکول‌های آلی که نامشان به آن زیبایی نیست، کربوکسی‌متیل سلولز[۲]، خرد می‌شود. از طرفی اگر مقدار «کربوکسی‌متیل سلولز» کمتر باشد، نتیجه برعکس است و باعث می‌شود ذرات «مونتموری‌لونیت» بیش‌تر به هم بچسبند. تانن‌ها[۳] که نوع دیگری از مولکول‌های آلی است در صنایع روغن به کار می‌رود و حفاری در خاک را راحت‌تر می‌کنند. اگر در مته‌های روغنی می‌توان از مولکول‌های آلی برای باز کردن مسیر و حفاری در گِل استفاده کرد، دلیلی ندارد که انتخاب انباشتی همین بهره‌برداری را توسط مواد معدنی تکثیر شونده انجام ندهد.

در این‌جا به خاطر قابل توجیه بودن نظر *کایرنس–اسمیت* امتیازی نصیبش می‌شود. ماجرا از این قرار است که شیمیدان‌هایی که نظریه پرطرفدارتر سوپ آغازین را قبول دارند، مدت‌هاست که نقش مواد معدنی خاک را در این ماجرا پذیرفته‌اند. از یکی از آن‌ها D. M. Anderson نقل‌قول می‌کنم، «اکنون این نظر مورد قبول است که بعضی، شاید بسیاری، از فرایندها و واکنش‌های شیمیایی مواد غیرزنده که منجر به پیدایش ریزموجودات تکثیر شونده روی زمین شده‌اند، در ابتدای عمر زمین رخ

---

۱ Montmorillonite.

۲ Carboxymethyl cellulose.

۳ اسید گالوتانیک.

داده‌اند و هم‌نشینی نزدیکی با سطوح خاک‌های معدنی و دیگر لایه‌های غیرآلی داشته‌اند». این نویسنده مطلب را با ذکر بیان «نقش»های مواد معدنی در کمک به پیدایش زندگی آلی ادامه می‌دهد، (مثلاً به تجمع مواد واکنش کننده شیمیایی به وسیله جذب سطحی) اشاره می‌کند. لزومی ندارد که در این‌جا همه پنج نقشی را که او مطرح کرده شرح دهیم یا حتی آن‌ها را درک کنیم. به نظر ما مهم این است که هر یک از آن پنج نقش مواد معدنی خاک می‌تواند در جهت مقابل عمل کند. این نشان می‌دهد که ممکن است ارتباط نزدیکی بین ترکیب مواد شیمیایی آلی و سطوح خاک وجود داشته باشد. بنابراین این موضوع برای تئوری «کایرنس-اسمیت» که براساس آن تکثیر شونده‌های خاکی مولکول‌های آلی را ترکیب کرده و از آن‌ها برای مقاصد خود استفاده کرده‌اند یک برتری محسوب می‌شود.

کایرنس-اسمیت با توضیحاتی بیش از آن‌چه من بتوانم این‌جا بیاورم، از موارد استفاده اولیه‌ای که این بلورهای تکثیر شونده احتمالاً برای پروتئین‌ها، قندها و مهم‌تر از همه برای اسیدهای نوکلئیک مانند RNA، داشته‌اند بحث می‌کند. او نظر می‌دهد که RNA در ابتدا فقط برای اهداف مربوط به ساختمان به کار می‌رفت، همان‌طور که حفاران از «تانن‌ها» یا ما از صابون و شوینده‌ها استفاده می‌کنیم. مولکول‌های «RNA-مانند» به خاطر این‌که ستون مهره‌هاشان به صورت منفی شارژ می‌شود، تمایل دارند که سطح خارجی ذرات گِل را بپوشانند. این موضوع ما را وارد قلمروی شیمی می‌کند که خارج از بحث ماست. آن‌چه برای ما همه است این است که RNA، یا چیزی مشابه آن، خیلی قبل از این‌که بتواند خود را تکثیر کند، در آن محیط وجود داشته است. وقتی سرانجام خود-تکثیر شد، وسیله‌ای بود برای ژن بلورهای معدنی تکامل‌یافته تا کارایی تولید RNA (یا مولکول‌های مشابه) را بهتر کند. اما وقتی یک مولکول خود-تکثیر به وجود آمد، نوع جدیدی از انتخاب انباشتی به کار افتاد. این در اصل یک نمایش فرعی بود، چون تکثیر شونده‌های جدید خیلی کارآمدتر از آن بلورهای اولیه‌ای که جانشینان‌شان شده بودند، از آب در آمدند و با تکامل بیش‌تر،

سرانجام آن رمز DNAای را که امروزه برای ما شناخته شده است، ساختند. تکثیر شونده‌های معدنی اولیه مثل یک داربست فرسوده کنار گذاشته شدند و همه حیات امروزی از آن جد مشترک نه خیلی دور، با یک نظام ژنی همسان و تا حد زیادی زیست‌شیمی همسان تکامل یافت.

حدس من در کتاب *ژن خودخواه* این بود که ما تحت تأثیر نوع جدیدی از حاکمیت ژن‌ها قرار داریم. تکثیر شونده‌های DNA برای خودشان دستگاه‌های بقا ساختند – بدن جانداران از جمله بدن خود ما را. به عنوان بخشی از ابزارشان، کامپیوتر جاسازی شده را در مغز ساختند. مغز توانایی ارتباط با مغزهای دیگر را با استفاده از زبان و مراسم فرهنگی برقرار ساخت. اما هزاره جدید سنت‌های فرهنگی و افق‌های جدیدی در مقابل ماهیت‌های خود–تکثیر گشوده است. تکثیر شونده‌های جدید DNAها نیستند، بلورهای خاک هم نیستند. بلکه الگوهای اطلاعات‌اند و فقط در مغز یا در وسایلی مانند کتاب و کامپیوتر که مغز آن‌ها را می‌سازد، می‌توانند خوب رشد کنند. با این فرض که مغز و کتاب و کامپیوتر وجود دارند، این تکثیر شونده‌های جدید، که من آن‌ها را meme می‌نامم، برای این‌که با «ژن» اشتباه نشوند، می‌توانند خود را از مغزی به مغز دیگر، از مغز به کتاب، از کتاب به مغز، از مغز به کامپیوتر و از کامپیوتر به کامپیوتر منتشر و ضمن انتشار ممکن است تغییر کنند – جهش و شاید «meme»های جهش‌یافته بتوانند آن نوع تأثیری که من در این‌جا «قدرت تکثیر شوند» می‌نامم بروز دهند. یادتان باشد منظورم هر نوع تأثیری است که ممکن است روی احتمال انتشار خودشان داشته باشند. تکامل تحت تأثیر این تکثیر شونده‌های جدید – «تکامل ممی» – دوران طفولیتش را می‌گذراند و خود را در پدیده‌ای که ما تکامل فرهنگی می‌نامیم نشان می‌دهد. تکامل فرهنگی خیلی سریع‌تر از تکامل DNA پیش می‌رود و ما را وا می‌دارد بیش‌تر به مفهوم «پیشی گرفتن» توجه کنیم. و اگر در آغاز «پیشی گرفتن» نوع جدیدی تکثیر شونده باشیم، جدا شدنِ آن از پدر و مادرش، DNA (و پدربزرگ و مادربزرگش، بلورهای خاک

اگر نظر *کایرنس-اسمیت* درست باشد) خیلی زیاد طول خواهد کشید. اگر چنین باشد، می‌شود مطمئن بود که کامپیوترها جلودار خواهند بود.

می‌توان تصور کرد که در روزی نامعلوم، کامپیوترهای هوشمند درباره منشاء خود به حدس و گمان متوسل شوند؟ ممکن است یکی از آن‌ها با خام فکری به این حقیقت دست یابد که به جای اصول الکترونیکی سیلیکون بنیاد در بدن کنونی‌شان از یک شکل ابتدایی‌تر حیات، که ریشه در شیمی کربن داشته پیدا شده‌اند؟ ممکن است «*کایرنس-اسمیت*» آهنی کتابی به نام *پیشی گرفتن الکترونیکی* بنویسد؟ ممکن است او برای استعاره آن طاق یک معادل الکترونیکی پیدا کند و متوجه شود که کامپیوتر ممکن *نیست که خودبه‌خود به عالم* وجود پریده باشد، بلکه باید ریشه در یک روند انتخاب انباشتی ابتدایی‌تر داشته باشد؟ ممکن است وارد جزئیات شود و DNA را به عنوان یک تکثیر شونده پذیرفتنی بازسازی کند، تکثیر شونده‌ای که قربانی تهاجم الکترونیکی شده است؟ آیا او آن‌قدر آینده‌نگری خواهد داشت که حدس بزند حتی خود DNA جای تکثیر شونده قدیمی‌تر، بلورهای آلی سیلیکات را، غصب کرده باشد؟ اگر ذهن شاعرانه‌ای داشته باشد، آیا حس خواهد کرد که در این بازگشت به حیات سیلیکون بنیاد، عدالتی نهفته است و در این مسیر DNA چیزی جز یک میان پرده کوتاه نیست – میان پرده‌ای که بیش از سه میلیارد سال طول کشیده است؟

این ماجرا مانند داستان علمی-تخیلی است و احتمالاً دست‌نیافتنی جلوه می‌کند. اشکالی ندارد. ممکن است نظریه *کایرنس-اسمیت* و همه نظریه‌های دیگر درباره منشاء حیات غیرواقعی یا بعید به نظر برسند. آیا شما هم فکر می‌کنید نظریه خاک *کایرنس-اسمیت* و نظریه «سوپ آغازین» مواد آلی که مقبول‌تر است کاملاً نامحتمل‌اند؟ آیا به نظر شما فقط معجزه می‌تواند از این اتم‌هایی که از سر و کله هم بالا می‌روند یک مولکول خود تکثیر بسازد؟ خوب، گاهی به نظر من هم همین‌طور است. ولی اجازه دهید کمی عمیق‌تر موضوعِ عدمِ احتمال معجزه را بررسی کنیم. من

برای این کار نکته‌ای را مطرح می‌کنم که گرچه در آن تناقض وجود دارد ولی بسیار جالب است. و آن این است که اگر قرار باشد پیدایش حیات برای ذهن ما انسان‌ها با معجزه همراه نباشد ما به عنوان دانشمند باید نگران شویم. (برای آگاهی انسان) یک نظریه معجزه‌آمیز درست همان چیزی است که ما باید در جستجوی آن برای تبیین پیدایش حیات باشیم. این استدلال بحث را به این‌جا می‌کشد که تعریف کنیم منظور از معجزه چیست؟ بقیه این فصل شامل همین موضوع است. به گونه‌ای، ادامه بحثی معمولی است که قبلاً درباره میلیاردها سیاره انجام داده‌ایم.

خوب، منظور از معجزه چیست؟ معجزه اتفاقی است که رخ می‌دهد ولی فوق‌العاده تعجب‌آور است. اگر یک مجسمه حضرت مریم که از سنگ مرمر است ناگهان دستش را برای ما تکان دهد، باید آن را یک معجزه بدانیم چون همه دانش و تجربه ما حاکی از آن است که سنگ مرمر نمی‌تواند چنین رفتاری داشته باشد. من اکنون می‌گویم «ممکن است صاعقه‌ای به من اصابت کند». اگر در همین لحظه برق آسمانی نیز به من برخورد کند، معجزه رخ داده است. اما درواقع، علم هیچ‌کدام از این اتفاقات را کاملاً غیرممکن نمی‌داند. از نظر علم آن‌ها نامحتمل هستند و دست تکان دادن مجسمه از صاعقه نامحتمل‌تر است. گاه صاعقه به آدم‌ها اصابت می‌کند. به هر کدام ما ممکن است بخورد اما [احتمال] این‌که این برخورد در لحظه خاصی باشد بسیار کم است (گرچه در کتاب گینس که کوردها را ثبت می‌کند عکس جالبی از یک مرد ویریجینیایی وجود دارد که «هادی برق آسمانی» لقب گرفته است. او در بیمارستان بستری است زیرا برای هفتمین بار دچار صاعقه شده، در چهره‌اش مخلوطی از بهت و ترس دیده می‌شود). در داستان فرضی من تنها چیز غیرمعمول این است که اشاره من به آن بلای آسمانی و اصابت آن به من هم‌زمان صورت گرفته است.

همزمان شدن یعنی چند برابر شدن عدم احتمال. شاید احتمال این‌که در هر دقیقه یک برق آسمانی به بدن من بربخورد یک در ده میلیون باشد. احتمال این‌که من در

یک لحظه خاص از برخورد برق آسمانی با خودم صحبت کنم هم بسیار کم است. من در تمام عمرم که تاکنون ۲۳,۴۰۰,۰۰۰ دقیقه است فقط یک بار این کار را انجام داده‌ام و بعید می‌دانم که دوباره تکرار کنم، بنابراین می‌شود یک در ۲۵ میلیون. برای محاسبه احتمال این‌که این دو کار، همزمان رخ دهند، باید این دو اندازه احتمال را در هم ضرب کنیم که حدوداً می‌شود یک در ۲۵۰ تریلیون. اگر چیزی که تا این حد احتمالش کم است برای من رخ دهد، باید اسمش را معجزه بگذارم و بعد از این مواظب حرف زدنم باشم. اگرچه عدم احتمال چنین رویدادی فوق‌العاده زیاد است ولی به هر حال قابل محاسبه است و نمی‌توان احتمال وقوع آن رویداد را برابر صفر دانست.

در مورد مجسمه مرمری باید گفت مولکول‌های مرمر همواره در جهات مختلف در جنبش‌اند. برخورد مولکول‌ها به یکدیگر باعث خنثی شدن حرکت آن‌ها می‌شود. به‌طوری‌که در مجموع دست مجسمه بی‌حرکت است. اما اگر، کاملاً تصادفی در یک لحظه همه مولکول‌ها در یک جهت حرکت کنند، دست تکان می‌خورد. اگر بعد همه جهت‌شان را برعکس کنند دست در جهت عکس حرکت می‌کند. به این ترتیب ممکن است که یک مجسمه مرمری برای ما دست تکان دهد. عدم احتمال این حرکت آن‌قدر زیاد است که در ذهن نمی‌گنجد، با این حال می‌شود آن را حساب کرد. یک دوست فیزیکدان لطف کرده و آن را برای من حساب کرده است. آن عدد آن‌قدر بزرگ است که برای نوشتن صفرهایش زمان بیش‌تری از عمر زمین لازم است. از نظر تئوری برابر است با احتمال پریدن یک گاو به کره ماه. نتیجه این بخش از بحث ما این است که می‌توانیم راه‌مان را در قلمرو نامحتمل‌های معجزه‌واری که برای ذهن ما قابل توجیه نیستند پیش‌بینی کنیم.

ببینیم منظورمان از قابل توجیه چیست؟ چیزی که از نظر ما قابل توجیه محسوب می‌شود، باریکه‌ای از یک طیف بسیار گسترده‌تر است که ممکن است وجود داشته باشد. گاهی خیلی باریک‌تر است از آن‌چه عملاً وجود دارد. به خوبی

می‌شود آن را با نور مقایسه کرد. ساختار چشم ما طوری است که می‌تواند نوار باریکی از فرکانس‌های الکترومغناطیس (چیزی که ما نور می‌نامیم) را تحمل کند. این نوار جایی در وسط یک طیف قرار دارد که از امواج بلند رادیویی شروع و به پرتو کوتاه X در انتهای دیگر ختم می‌شود. ما پرتوهای خارج از محدوده آن نوار باریک را نمی‌بینیم، ولی محاسباتی در موردشان انجام می‌دهیم و با ابزارهایی که می‌سازیم آن‌ها را ردیابی می‌کنیم. به همین ترتیب، می‌دانیم که مقایس‌های اندازه و زمان در دو جهت آن‌قدر گسترده‌اند که تصورش برای ذهن ما دشوار است. مغز ما از پس فواصل بسیار بزرگ که در نجوم با آن‌ها سروکار دارند یا فاصله‌های بسیار کوچک که فیزیک در اتم با آن سروکار دارد خوب برنمی‌آید، ولی می‌توانیم آن‌ها را با علایم ریاضی بیان کنیم. مغز ما نمی‌تواند زمان کوچکی مانند یک هزار میلیاردیم ثانیه (picosecond) را تصور کند ولی ما محاسباتی درباره‌ی $\frac{۱}{۱۰^{۱۲}}$ ثانیه انجام می‌دهیم و کامپیوترهایی می‌سازیم که در زمان کوتاه محاسباتی را انجام می‌دهند. برای مغز ما تصور یک گستره زمانی به بلندی میلیون سال مشکل است چه رسد به هزاران میلیون سال – زمانی که معمولاً در زمین‌شناسی مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

چشم ما فقط فرکانس‌های الکترومغناطیسی آن نوار باریک را می‌بیند که انتخاب طبیعی اجداد ما را مجهز به دیدنش کرده است. مغز ما طوری ساخته شده که از پس نوارهای باریکی از زمان و اندازه برمی‌آید. شاید برای اجداد ما لزومی نداشته است که با اندازه‌ها و زمان‌هایی، خارج از آن محدوده‌ی باریکِ کارهای روزمره، سروکار داشته باشند. بنابراین مغز ما هرگز در جهت درک آن‌ها تکامل پیدا نکرده است. شاید اندازه بدن خود ما مهم بوده و در وسط طیفِ اندازه‌های قابل درک برای ما قرار گرفته است.

در مورد نامحتمل‌ها و معجزه‌ها هم قضیه از همین قرار است. یک خط مدرج از نامحتمل‌ها رسم کنید. چیزی شبیه خط‌کشی برای سنجش اندازه‌هایی از اتم تا کهکشان‌ها یا مانند یک مقیاس زمانی برای اندازه‌گیری از هزار میلیاردیم ثانیه تا یک

میلیارد سال. روی این خط مدرج چند نقطه را مشخص می‌کنیم. در انتهای سمتِ چپِ خط حوادثی هستند که همه یقین به شمار می‌آیند مانند این احتمال که فردا خورشید طلوع می‌کند – همان موضوع شرط *جی. اچ. هاردی* روی نیم پنی. نزدیک به انتهای سمت چپ خط رویدادهایی قرار می‌گیرند که احتمال‌شان کم است مانند جفت شش بودن دو تاس با یک بار ریختن. در این مورد عدم احتمال $\frac{۱}{۳۶}$ است. تصور من این است که همه آن را تجربه کرده‌ایم. روی خط مدرج به سمت راست که می‌رویم، یک نقطه مشخص دیگر احتمال آوردن دست کامل در بازی بریج است، که در آن هر چهار بازیکن دست‌شان کاملاً جور باشد. احتمال چنین وضعیتی ۱ در ۲,۲۳۵,۱۹۷,۴۰۶,۸۹۵,۳۶۶,۳۶۸,۳۰۱,۵۵۹,۹۹۹ است. بگذارید این را یک «dealion» بنامیم – واحد عدم احتمال. اگر اتفاقی که عدم احتمالش یک دیلیون است رخ دهد فکر می‌کنیم معجزه شده یا در غیر این صورت تقلبی در کار بوده است. ولی ممکن است این اتفاق به صورت شرافتمندانه هم رخ دهد و احتمال آن بسیار بسیار بیش‌تر از آن است که مجسمه‌ی سنگ مرمر برای ما دست تکان دهد. با وجود این، چنان‌که قبلاً دیده‌ایم، این رویداد دوم جایگاه خودش را در طیف رویدادهای ممکن، دارد و احتمال آن قابل اندازه‌گیری است، البته با واحدهایی خیلی بزرگ‌تر از «گیگا دیلیون». بین انداختن تاس جفت شش و آوردن دست کامل در بازی بریج محدوده‌ای قرار دارد که در آن رویدادها کمابیش نامحتمل‌اند و هر از گاهی رخ می‌دهند، مثل اصابت صاعقه به کسی یا بردن جایزه بزرگی در شرط‌بندی روی نتیجه مسابقه فوتبال یا انداختن توپ گلف در چاله با زدن اولین ضربه و مانند این‌ها. جایی در این محدوده هم مربوط به اتفاقاتی می‌شود که احساس تیرکشیدن مهره‌های پشت‌مان را تجربه می‌کنیم. مثلاً کسی را بعد از ده سال یک بار خواب می‌بینیم، وقتی بیدار می‌شویم باخبر می‌شویم که او همان شب فوت کرده است. این اتفاقاتِ ترس‌آور، ما را بسیار تحت تأثیر قرار می‌دهند مخصوصاً وقتی برای ما یا یکی از دوستان پیش می‌آید ولی عدم احتمال آن را با پیکو دیلیون اندازه می‌گیریم.

بعد از این‌که خط مدرجِ چیزهای نامحتمل را ساختیم و درجاتی را روی آن مشخص کردیم، بخشی از آن را که با فکر و کلام معمولی ما همخوانی دارد با یک دستگاه نورافکن روشن می‌کنیم. عرض نور این نورافکن قابل مقایسه با آن نوار باریک فرکانس الکترومغناطیسی است که چشم ما می‌تواند ببیند یا آن طیف باریک اندازه یا زمان که به اندازه بدن یا طول عمر ما نزدیک است و در تصور ما می‌گنجد. در طیف نامحتمل‌ها، نورافکن فقط نوار باریکی در انتهای سمت چپ خط مدرج را روشن می‌کند، تا حد معجزه‌های کوچکی مثل در چاله انداختن توپ گلف با یک ضربه یا خوابی که درست درمی‌آید. در خارج از محدوده آن نورافکن، قلمرو وسیعی از نامحتمل‌ها وجود دارند که از نظر ریاضی قابل محاسبه‌اند.

انتخاب طبیعی مغز ما را طوری ساخته است که درست همان‌طور که چشم ما طول امواج الکترومغناطیس را می‌سنجد، احتمال و خطر را ارزیابی می‌کند. ما تجهیزاتی در ذهن داریم که خطر و عدم احتمال را در محدوده‌ای که برای ما فایده‌ای داشته باشد محاسبه می‌کند، یعنی خطر شاخ زدن گاو به ما، اگر تیری به سویش پرتاب کنیم، برخورد کردن صاعقه به ما اگر زیر تک درختی پناه بگیریم، یا غرق شدن در رودخانه اگر بخواهیم عرض آن را شنا کنیم. این خطرها با طول عمر ما که چند دهه است، تناسب دارد. اگر از نظر زیست‌شناختی می‌توانستیم میلیمون سال عمر کنیم و خواهان چنین عمر درازی بودیم، برآورد ما از خطر طور دیگری بود. مثلاً نمی‌بایست از خیابان رد می‌شدیم. اگر کسی نیم میلیون سال هر روز از خیابانی رد شود، حتماً زیر ماشین می‌رود.

تکامل به نحوی مغز ما را مجهز به یک آگاهی درونی از خطر و عدم احتمال کرده که مناسب جاندارانی با عمر کمتر از یک قرن است. اجداد ما مدام مجبور بودند در مواردی که شامل خطر و احتمال بوده تصمیم بگیرند و بنابراین انتخاب طبیعی مغز ما را طوری پرورده که احتمالات را با توجه به عمر کوتاه ما می‌سنجد. اگر در سیاره‌ای دیگر جاندارانی یافت شوند که عمرشان یک میلیون قرن باشد،

نورافکن آن‌ها در آن میزان خطی، بیش‌تر سمت راست را روشن می‌کند. آن‌ها می‌توانند انتظار داشته باشند هر از گاهی در بازی بریج همه ورق‌ها جور باشند و اگر چنین اتفاقی رخ دهد، کمتر این زحمت را به خود می‌دهند که آن را برای دوستان‌شان تعریف کنند. ولی اگر مجسمه مرمری دست تکان دهد، آن‌ها هم یکه می‌خورند. چون باید «دیلیون‌ها» سال بیش‌تر از آن عمر کرد تا شاهد چنین معجزه‌ی شگفت‌آوری شد.

خوب، همه این‌ها چه ربطی به پیدایش حیات دارد؟ ما در شروع این بحث پذیرفتیم که نظریه «کایرنس-اسمیت» و نظریه سوپ آغازین کمی دست‌نیافتنی و نامحتمل‌اند. به‌طور طبیعی احساس می‌کنیم میل داریم، به آن دلایل گفته شده، این نظرها را مردود بدانیم. اما یادمان باشد ما از آن جاندارانی هستیم که مغزشان دارای نورافکنی است که خطکش مدرج خطرهای قابل محاسبه را فقط به اندازه عرض یک مداد در انتهای سمت چپ روشن می‌کند. آن‌چه بر اساس قضاوت درونی ما یک شرط خوب محسوب می‌شود لزومی ندارد که واقعاً شرط خوبی باشد. قضاوت درونی جانداری که از کره‌ای ناشناخته آمده و عمری یک میلیون قرنی دارد، کاملاً طور دیگری است. برای او رویدادی مانند پیدایش اولین مولکول تکثیر شونده بر اساس نظر یک شیمیدان همان‌قدر قابل پذیرش است که برای ما، که تکامل نقشه جنبش ما در جهان را برای چند دهه تنظیم کرده، یک معجزه مبهوت کننده است. چگونه می‌توان تعیین کرد کدام نقطه نظر صحیح است، نظر ما یا نظر آن بیگانه دیرزی؟

پاسخ این سؤال ساده است. نظر آن بیگانه‌ی دیرزی صحیح است، اگر بخواهیم نظریه‌ای مانند کایرنس-اسمیت یا «سوپ آغازین» را قابل توجیه بدانیم. علت آن است که این دو نظریه رخ دادن رویداد خاصی مانند پیدایش خودبه‌خود یک موجود خود-تکثیر کننده را یک بار در یک میلیارد سال می‌دانند، یعنی یک بار در یک aeon. بین پیدایش زمین و پیدا شدن نخستین فسیل باکتری حدود ۱/۵ میلیارد

سال فاصله است. برای اذهان ما که بر محدوده دهه‌ها آگاهی دارد، حادثه‌ای که فقط یک بار در هر aeon رخ می‌دهد آن‌قدر نادر است که معجزه عظیمی محسوب می‌شود. احتمالاً از نظر آن بیگانه دیرزی چنین رویدادی معجزه کوچک‌تری از افتادن توپ گلف با یک ضربه در چاله است، در نظر ما – بیش‌تر ما، احتمالاً کسی را می‌شناسیم که او کسی را می‌شناسد که آن شخص یک بار با یک ضربه توپ گلف را در چاله انداخته است. در قضاوت درباره فرضیه‌های پیدایش حیات، مقیاس زمان درونی آن بیگانه دیرزی بی‌ربط نیست زیرا تقریباً مقیاسی است که پیدایش حیات را نیز در بر می‌گیرد. ضریب اشتباه بدون قضاوت درونی ما در مورد قابل توجیه بودن یک نظریه درباره پیدایش حیات، احتمالاً یک صد میلیون است.

اگر دایره تفکر را گسترش بدهیم قضاوت درون‌گرایانه ما درواقع باز نادرست است. نه فقط به این علت که طبیعت مغز ما را طوری ساخته که خطر وقایع را کوتاه مدت می‌سنجد بلکه به این دلیل که مغز ما طوری تکامل یافته که خطر وقایع را برای شخص خود ما، یا برای حلقه‌ای از افراد نزدیک ما درک می‌کند. علت این است که این مغز در شرایطی که رسانه‌های همگانی بر جهان غالب است رشد نکرده است. با وجود رسانه‌های همگانی، هر گاه در هر جای جهان، برای کسی حادثه غیرمعمولی رخ دهد، همه با خبر می‌شوند یا در کتاب رکوردهای گینس آن را می‌خوانند. اگر واعظی در مقابل جمع ادعا کند که اگر دروغ بگوید، صاعقه جانش را می‌گیرد و درست در همان لحظه چنین حادثه‌ای رخ دهد، ما از آن باخبر می‌شویم و به‌طور طبیعی و متناسب تحت تأثیر قضیه قرار می‌گیریم. ولی چند میلیون آدم در دنیا وجود دارد و این اتفاق ممکن بود برای هر کدام از آن‌ها پیش بیاید. بنابراین نباید آن‌قدرها هم خارق‌العاده جلوه کند. احتمالاً طبیعت مغز ما را طوری آماده کرده که خط اتفاق‌هایی را می‌سنجد که برای خود ما یا برای چند صد نفری که در دهات اطراف ما، در شعاعی قرار دارند که اجداد ما انتظار شنیدن صدای طبل‌شان را داشتند، بخواهد رخ دهد. وقتی ما در روزنامه از اتفاق حیرت‌آوری که برای شخصی

در «وال پاراسیو» یا «ویرجینیا» رخ داده، با خبر می‌شویم بیش از اندازه تعجب می‌کنیم. اگر نسبتِ بینِ جمعیت جهان، که در روزنامه خبرش پخش می‌شود، و جمعیت قبیله‌ای که ذهن ما متناسب با آن تکامل یافته و در آن حد انتظار شنیدن خبر را دارد، در نظر بگیریم، به نظر می‌رسد صد میلیون بار بیش‌تر متعجب می‌شویم.

این «در نظر گرفتن جمعیت» به قضاوت ما در قابل توجیه بودن نظریه‌های پیدایش حیات نیز مربوط می‌شود. نه به خاطر جمعیت روی کره زمین، بلکه به خاطر جمعیت سیاره‌های موجود در جهان، جمعیت سیاره‌هایی که حیات می‌توانست در آن‌ها شروع شود. این بحث را در ابتدای این فصل هم داشتیم، بنابراین لزومی ندارد که دوباره تکرار کنیم. بر می‌گردیم به تصور ذهنی ما از خط مدرج رویدادهای نامحتمل در فاصله بین نقطه‌های مشخصی که رویداد ورق‌های بازی و دست در بازی بریج و ریختن طاس‌ها را نشان می‌داد. روی این خط مدرج که بر حسب «دیلیون» و «میکرو دیلیون» مدرج شده سه نقطه زیر را مشخص می‌کنیم. اول احتمال پیدایش حیات در یک سیاره (به فرض، در یک میلیارد سال)، اگر بنا را بر این بگذاریم که حیات در هر منظومه شمسی فقط یک بار رخ می‌نماید. دوم، احتمال پیدایش حیات در یک سیاره اگر امکان پیدایش آن برابر با یک بار در هر کهکشان باشد. سوم، احتمال پیدا شدن حیات در یک سیاره اگر بنا بر این باشد که حیات فقط یک بار در جهان پیدا شده است. این سه نقطه را به ترتیب با نام‌های شماره منظومه شمسی، شماره کهکشان و شماره کیهان مشخص می‌کنیم. یادمان باشد که حدود ۱۰,۰۰۰ هزار میلیون کهکشان داریم. ما نمی‌دانیم در هر کهکشان چند منظومه شمسی وجود دارد زیرا ستاره‌ها را می‌بینیم، سیاره‌ها دیده نمی‌شوند، ولی قبلاً برآورد کرده‌ایم که احتمالاً ۱۰۰ میلیارد میلیارد سیاره در این جهان هست.

وقتی عدم احتمال رویدادی را می‌سنجیم که مثلاً بر اساس نظریه *کایرنس-اسمیت* مسلم فرض می‌شود باید آن را در مقابل این سه عدد یعنی شماره منظومه

شمسی، شماره کهکشان و شماره کیهان ارزیابی کنیم، نه بر اساس شم درونی خودمان که آن را محتمل یا نامحتمل می‌داند. این‌که کدامیک از این سه عدد برای این کار مناسب‌ترین است بدان بستگی دارد که کدامیک از سه عبارت زیر از نظر ما به حقیقت نزدیک‌تر باشد.

۱. حیات فقط یک بار در جهان پیدا شده است (و آن سیاره، همان‌طور که قبلاً دیدیم باید زمین باشد).

۲. حیات در هر کهکشان در یک سیاره پیدا شده است (در کهکشان ما، آن سیاره خوشبخت زمین است).

۳. پیدایش حیات رویدادی است که احتمال دارد در هر منظومه شمسی یک بار پیدا شود (در منظومه شمسی ما، زمین آن سیاره خوش‌اقبال است).

این سه عبارت منحصر به فرد بودن حیات را از سه نظر متفاوت در سه نقطه متفاوت از آن خط سنجش نشان می‌دهند. منحصر به فرد بودن واقعی حیات احتمالاً در جایی بین محدوده عبارت اول تا عبارت سوم قرار دارد. چرا این را می‌گویم؟ چرا باید احتمال چهارمی را که می‌گوید پیدایش حیات خیلی محتمل‌تر از آن است که در عبارت سوم آمده را کنار بگذارم؟ این استدلال محکمی نیست ولی در هر صورت چنین است. اگر احتمال پیدایش حیات بسیار محتمل‌تر از آن‌چه در شماره منظومه شمسی پیشنهاد شده باشد، ما باید این انتظار را داشته باشیم که تا حالا به صورتی از حیات، اگر نه به صورت جسم حداقل با استفاده از امواج، در خارج از محیط زمین برخورد کرده باشیم.

اغلب، می‌گویند تلاش شیمیدان‌ها در بازسازی حیات خودانگیخته در آزمایشگاه ناموفق بوده است و از این واقعیت طوری بهره‌برداری کرده‌اند که گویی شواهدی علیه نظریه‌های مورد بررسی آن شیمیدان‌هاست. اما درواقع می‌شود این‌طور بحث کرد که اگر برای دانشمندان بازسازی حیات در لوله آزمایش خیلی آسان باشد باید نگران

شد. به این دلیل که آزمایش شیمیدان‌ها در عرض چند سال انجام می‌شود نه هزاران میلیون سال و به این دلیل که فقط تعدادی انگشت‌شمار، نه هزاران میلیون شیمیدان، در کار انجام این آزمایش‌ها هستند. اگر پیدایش حیات به صورت خودانگیخته رویداد محتملی باشد که طی عمر چند دهه‌ای انسان، که در آن شیمیدان‌ها به آزمایش می‌پردازند، رخ دهد، باید چند بار در روی زمین و دفعات بسیاری روی سیارات دیگری که با فرستادن امواج از زمین قابل دسترسی‌اند پیدا شده باشد. البته این بحث‌ها به این موضوع مربوط می‌شود که آیا شیمیدان‌ها موفق به بازسازی شرایط دوران اولیه زمین شده‌اند، اگر چنین باشد، حتی اگر نتوانیم به این سؤال‌ها پاسخ دهیم، این بحث ارزش آن را دارد که پی‌گیری شود.

اگر پیدایش حیات، با معیارهای انسان‌ها، رویداد محتملی باشد، باید تعداد قابل توجهی از سیاره‌ها که در محدوده امواج هستند از مدت‌ها پیش به فناوری به‌کارگیری امواج دست یافته باشند (توجه داشته باشید که امواج رادیویی با سرعت ۲۹۸,۳۴۴ کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کنند) و با ما در این چند دهه که به آن دست یافته‌ایم حداقل یک ارتباط برقرار کرده باشند. در محدوده امواج رادیویی احتمالاً حدود ۵۰ ستاره وجود دارد که می‌توانیم فرض کنیم لااقل در مدت زمان دست‌یابی ما به این تکنولوژی آن‌ها نیز آن را داشته‌اند. اما پنجاه سال فقط یک لحظه گذر است و این اتفاق بسیار مهمی است که یک تمدن دیگر این‌چنین همپای تمدن ما باشد. اگر ما در محاسبات‌مان تمدن‌هایی که ۱۰۰۰ سال پیش تکنولوژی امواج را داشته منظور کنیم، به چیزی حدود یک میلیون ستاره (همراه با هر چند سیاره‌ای که به دور هر یک از آن‌ها می‌گردد) در محدوده امواج خواهیم رسید. اگر آن‌هایی را که قدمت تکنولوژی امواج‌شان به صد هزار سال برمی‌گردد در نظر بگیریم، همه تریلیون ستاره کهکشان‌ها را شامل می‌شود. البته علایم فرستنده‌ها در گذر از چنین مسافت‌های دوری، خیلی ضعیف می‌شوند.

به این ترتیب به تناقض می‌رسیم. اگر یک نظریه پیدایش حیات با قضاوت

درون‌گرایانه ما به اندازه کافی قابل توجیه باشد، آن وقت می‌شود گفت بیش از اندازه موجه است که دلیل موجهی برای کم‌پیدایی حیات در جهانی باشد که ما مشاهده می‌کنیم. بر اساس این استدلال، آن نظریه‌ای که ما در پی یافتنش هستیم باید برای ذهن محدود – محصور در زمین – و چند دهه‌ای ما نامعقول جلوه کند. از این دیدگاه، هم نظریه «کایرنس-اسمیت» و هم نظریه «سوپ آغازین» به نظر می‌رسد که در معرض خطرِ زیادِ قابلِ قبول بودن قرار دارند. با همه‌ی این تفاصیل، باید اعتراف کنم، چون در این محاسبات شک و ابهام‌های زیاد وجود دارد، اگر شیمیدانی در بازسازی حیات خود انگیخته موفق می‌شد، من درواقع زیاد هم یکه نمی‌خوردم.

ما هنوز دقیقاً نمی‌دانیم که کار انتخاب طبیعی چگونه روی زمین شروع شده است. هدف این فصل این بود که فقط انواع راه‌های احتمال شروع حیات را توضیح دهد. این امر که در حال حاضر اجماع نظر در مورد چگونگی آغاز حیات وجود ندارد نباید موجب سستی اعتماد به کل دیدگاه جهانی داروینیسم تلقی شود. اگر چه گاهی – احتمالاً با طرز تفکرهای رویایی – چنین است. در فصل‌های قبل، بعضی از مواردی را که باعث اِشکال در درک آن می‌شد مطرح گردید با این حال، در فصل آینده مورد دیگری از آن را خواهیم دید، این تصور را که انتخاب طبیعی همواره خراب می‌کند و هیچ‌وقت سازنده نیست.

فصل ۷

تکامل سازنده

گاهی مردم فکر می‌کنند انتخاب طبیعی فقط یک نیروی منفی است که ضعف‌ها و نارسایی‌ها را از دور خارج می‌کند ولی نمی‌تواند به طرح، پیچیدگی، زیبایی و کارآیی بدهد. می‌گویند مگر نه این است که از آن‌چه هست چیزهایی را کم می‌کند ولی آیا فرایند خلاق نباید چیزهایی هم بیفزاید؟ می‌توان با اشاره به یک مجسمه تا حدی به این سؤال پاسخ داد. به توده‌ی سنگ مرمر چیزی افزوده نمی‌شود. فقط پیکرتراش قسمت‌هایی از آن را برمی‌دارد ولی در نهایت یک تندیس زیبا آشکار می‌شود. البته ممکن است استفاده از این تشبیه موجب سوءتعبیر شود. زیرا بعضی ممکن است فوراً به جنبه نادرست آن توجه کنند – این‌که سازنده مجسمه یک طراح آگاه است – و موضوع اصلی آن، که پیکرتراش به جای افزودن با کاستن چیزی می‌سازد را از نظر دور بدارند. حتی در این زمینه هم نباید زیاد پیش رفت. انتخاب طبیعی ممکن است فقط کم کننده باشد ولی جهش می‌تواند چیزی بیفزاید. آن‌چه جهش و انتخاب طبیعی، دست در دست هم در طول دوره‌های طولانی زمین‌شناختی، می‌سازند بیش‌تر افزایشی است تا کاهشی. این ساختار به دو روش اصلی انجام می‌گیرد. روش اول با نام همسازگاری ژنوتیپ‌ها (Coadapted Genotypes) و روش دوم با نام مسابقات تسلیحاتی (arm races) صورت می‌گیرد. این دو در ظاهر تفاوت‌هایی

دارد، ولی هر دو زیر عنوان «هم تکاملی»[۱] یا «ژن‌ها به عنوان محیط زیست یکدیگر»[۲] در کنار هم قرار می‌گیرند.

ابتدا به مفهوم «هم‌سازگاری ژنوتیپ‌ها» می‌پردازیم. تأثیر خاص هر ژن به این دلیل است که از قبل ساختاری وجود دارد که ژن روی آن کار کند. ژن نمی‌تواند روی شبکه ارتباطی مغز اثر بگذارد مگر آن شبکه ارتباطی از قبل وجود داشته باشد و مغزِ دارای شبکه ارتباطی وجود نخواهد داشت مگر این‌که جنین رشد یافته‌ای وجود داشته باشد و جنین رشد یافته وجود نخواهد داشت مگر این‌که برنامه‌ی کاملی از رویدادهای شیمیایی و سلولی، تحت تأثیر تعداد بسیار زیادی از ژن‌ها و عوامل غیرژنی و اتفاقی دیگر، وجود داشته باشد. تأثیر خاص هر ژن ویژگی ذاتی آن محسوب نمی‌شود. این اثرها ویژگی‌های فرایندهای جنین شناختی‌اند، یعنی فرایندهایی که وجود دارند و ژن‌ها ممکن است در طول رشد جنین، و زمان‌های خاص، جزئیات آن‌ها را تغییر دهند. ما صورت ابتدایی این پیام را در رشد «بیومورف‌های کامپیوتری» نشان داده‌ایم.

کل فرایند رشد جنین را به یک مفهوم می‌توان یک اقدام دسته‌جمعی در نظر گرفت که در آن هزار ژن دست در دست هم، کار را پیش می‌برند. در یک جانور در حال رشد، همه‌ی ژن‌های فعال، با همدیگر، به جنین شکل می‌دهند. حال به این نکته مهم می‌رسیم که این همکاری چگونه رخ می‌دهد. انتخاب طبیعی ژن‌هایی را برمی‌گزیند که در محیطی که هستند، فعال و موفق باشند. ما اغلب این محیط را جهان خارج، دنیای جانوران غالب و آب و هوا در نظر می‌آوریم. اما از نظر ژن، شاید مهمترین بخش محیط، ژن‌های دیگری باشند که به آن‌ها برمی‌خورند. در کجا یک ژن با ژن‌های دیگر برمی‌خورد؟ اغلب در سلول‌های متوالی بدن که وجود خودش را در آن‌ها می‌یابد. انتخاب هر ژن بر اساس توانایی‌اش در همکاری موفق با

---

۱ Coevolution

۲ Genes as each other's environment

جمعیت ژن‌های دیگری است که در بدن‌ها با هم برخورد می‌کند.

جمعیت واقعی ژن‌ها که محیط فعالیت برای هر ژن خاصی فراهم می‌آورد، فقط یک مجموعه گذرا نیست که به‌طور اتفاقی در سلول‌های یک جانور کنار هم قرار گرفته باشند بلکه، دست‌کم در جاندارانی که به طریق جنسی تولید مثل می‌کنند، مجموعه‌ای است از همه ژن‌های افراد آن جمعیت که با یکدیگر جفت‌گیری نموده‌اند یعنی «خزانه‌ی ژن». می‌شود گفت در هر لحظه‌ی فرضی، رونوشت هر ژن خاص، مجموعه خاصی از اتم‌هاست که باید در سلول مستقر باشند. اما این مجموعه اتم‌ها که رونوشت یک ژن‌اند اهمیت همیشگی ندارد، دوره‌ی زندگی آن‌ها چند ماهی بیش نیست. چنان‌که دیدیم، ژن‌های دیرزی به عنوان واحدهای تکامل، ساختار مادی خاصی ندارند ولی اطلاعات مبتنی بر آرشیو آن‌ها از نسلی به نسل دیگر رونویسی می‌شود. این تکثیر شونده‌ها وجود منتشری دارند و به صورت گسترده‌ای در فضا بین افراد مختلف در طول زمان در نسل‌های متوالی توزیع شده‌اند. وقتی به جنبه پراکندگی آن‌ها توجه کنیم، هر ژن، در بدنی که قرار دارد، ژن‌های دیگری را «ملاقات می‌کند». هر ژن «انتظار» دارد طی انتشارش در درازمدت در بدن‌های مختلف و در زمان‌های متفاوت با انواع گوناگونی از ژن‌ها ملاقات کند. ژن موفق ژنی است که در آن محیطی که ژن‌های دیگر براش فراهم می‌آورند عمل‌کرد مناسبی داشته باشد. منظور از «عمل‌کرد مناسب» همکاری با ژن‌های دیگر است. این را، می‌توان مستقیماً در مسیرهای زیست‌شیمیایی دید.

هر مسیر زیست‌شیمیایی توالی مواد شیمیایی است که بعضی از فرایندهای مفید، مانند آزاد کردن انرژی یا حتی تشکیل یک ماده مهم طی می‌کند. برای هر مرحله‌ی این مسیر، «آنزیمی» لازم است – آنزیم، مولکول بزرگی است که نقش یک ماشین را در کارخانه مواد شیمیایی دارد. برای مراحل مختلف مسیر شیمیایی، آنزیم‌های متفاوت مورد نیاز است. گاهی برای رسیدن به یک هدف مفید، دو یا چند مسیر شیمیایی متفاوت وجود دارد، اگرچه ممکن است دو مسیر به مقصد یکسان برسند،

اما مراحل میانی که برای رسیدن به آن هدف پشت سر گذاشته می‌شود متفاوت‌اند و معمولاً مسیرها از نقاط متفاوتی شروع می‌شوند. هر یک از دو مسیر کار را به خوبی به انجام می‌رساند و تفاوت نمی‌کند که کدام برگزیده شود. برای هر جاندار مهم این است که هر بار یکی از آن دو مسیر را برگزیند، زیرا انتخاب هر دو با هم، منجر به تداخل شیمیایی و در نتیجه عدم کارایی خواهد شد.

اکنون فرض کنید که مسیر شماره ۱ برای ساختن ماده شیمیایی D نیاز به آنزیم‌های A1 و B1 و C1 دارد و مسیر شماره ۲ برای ساختن همان ماده به آنزیم‌های A2 و B2 و C2 نیازمند است. هر ژن آنزیم خاصی می‌سازد. بنابراین، برای ساختن خط تولید شماره ۱، لازم است ژن‌های مربوط به A1 و B1 و C1 با «هم تکامل» یابند. نیز برای ساختن خط تولید شماره‌ی ۲، ژن‌های مربوط به A2 و B2 و C2 باید با هم تکامل یابند. انتخاب بین این دو مسیرِ هم‌تکامل چیزی نیست که از قبل برنامه‌ریزی شود. انتخاب هر ژن فقط ناشی از سازگاری آن با ژن‌های دیگری است که از قبل بر آن جمعیت حاکم شده‌اند. اگر آن جمعیت، به‌طور اتفاقی از نظر ژن‌های مربوط به B1، C1 غنی باشد، شرایطی ایجاد خواهد شد که بیش‌تر به نفع ژن مربوط به A1 است تا A2. برعکس، اگر آن جمعیت از نظر ژن‌های مربوط به B2 و C2 قوی‌تر باشد، شرایط برای گزینش ژن مربوط به A2 مساعدتر است تا ژن A1.

البته مسئله به همین سادگی نیست، امیدوارم متوجه منظور من شده باشید: یکی از مهم‌ترین جنبه‌های اوضاع که ممکن است به سود یا زیان ژنی باشد، ژن‌های دیگری هستند که در آن جمعیت تعدادشان زیاد است، و ژن مورد نظر باید با آن‌ها در یک بدن سهیم باشند. از آن‌جا که برای ژن‌های دیگر نیز همین موضوع صادق است، برای ما تصویری از تیم‌های ژنی ایجاد می‌شود که همه با هم در جهت حل مشکل پیش می‌روند. خود ژن‌ها تغییر نمی‌کنند، بلکه یا در خزانه ژن باقی می‌مانند یا از بین می‌روند. این «تیم» ژن‌هاست که تحول پیدا می‌کند. تیم‌های دیگر نیز ممکن

است کار را به همان خوبی یا حتی بهتر انجام دهند. اما وقتی تیمی در «خزانه ژن» یک نوع جاندار، رفته‌رفته حاکمیت می‌یابد خودبه‌خود نوعی امتیاز به دست می‌آورد. برای یک گروه اقلیت مشکل است که امکانات را به خود اختصاص دهد، حتی اگر اقلیتی باشد که در نهایت کارآمدی کار را به انجام رسانده باشند. تیم اکثریت در برابر از دست دادن جای خود مقاومت می‌کند، فقط به این دلیل که اکثریت است. این بدان معنی نیست که هرگز موقعیت خود را از دست نمی‌دهد. اگر چنین بود، تکامل به بن‌بست می‌رسید. کلاً منظور این است که در ساختارِ آن نوعی مقاومت در برابر تغییر وجود دارد.

آشکار است که این نوع بحث منحصر به زیست‌شیمی نیست. می‌توانستیم چنین بحثی را در مورد سازگاری ژن‌های بخش‌های مختلف چشم، گوش، بینی، اعضای حرکتی و همه‌ی بخش‌های همکاری کننده در بدن یک نوع جاندار مطرح کنیم. به ژن‌هایی که دندان را مناسب جویدن گوشت می‌کنند در شرایطی امتیاز داده می‌شود که در آن بدن ژن‌هایی که روده را برای هضم گوشت مناسب می‌کنند حاکم باشند. برعکس شرایطی که در آن ژن‌هایی که روده را برای هضم گیاه مناسب می‌کنند حاکم باشند، به سود ژن‌های مربوط به دندان گیاه‌خواری خواهد بود. حالت عکس در هر دو مورد، نتیجه‌ی عکس خواهد داد. تیم «ژن‌های گوشت‌خواری» با هم و تیم «ژن‌های گیاه‌خواری» با هم تکامل می‌یابند. درواقع می‌شود گفت بیش‌تر ژن‌های فعال یک بدن مانند اعضای یک تیم همکاری می‌کنند، زیرا طی مدت تکامل (یعنی در رونوشت‌های نسل‌های) قبل هر کدام جزء همان محیطی بوده‌اند که در آن انتخاب طبیعی روی ژن‌های دیگر کار کرده است. اگر بپرسیم چرا اجداد شیر گوشت‌خوار ولی اجداد غزال گیاه‌خوار شدند، جواب می‌تواند این باشد که تصادفی بود. تصادف به این معنی که ممکن بود اجداد شیر گیاه‌خوار و اجداد غزال گوشت‌خوار شوند. اما وقتی در دودمانی تیمی از ژن‌ها به وجود آمد که بیش‌تر با گوشت سر و کار داشت تا گیاه، این فرایند خود را تقویت می‌کند و وقتی در دودمان دیگری، تیمِ ژن‌ها طوری بود که

بیش‌تر با گیاه سر و کار داشت تا گوشت، فرایند در جهات دیگر نیز در جهت تقویت خود پیش می‌رود.

یکی از چیزهای اصلی که باید در اوایل تکامل جانداران رخ داده باشد، زیاد شدن تعداد ژن‌های شرکت کننده در این مجموعه‌های همکاری است. در باکتری خیلی کمتر از گیاهان و حیوانات ژن وجود دارد. افزایش ژن‌ها ممکن است از طریق روش‌های مختلفِ رونویسی ژن‌ها پیدا شده باشد. فراموش نکنیم که هر ژن فقط رشته‌ای از علایم رمزدار، مانند فایلی در لوح کامپیوتر است و می‌توان ژن‌ها را روی قسمت‌های متفاوتی از کروموزوم رونویسی کرد، درست همان‌طور که می‌شود یک فایل را روی قسمت‌های مختلف یک لوح جا داد. در لوحی که روی آن این فصل کتاب نوشته شده «ظاهراً» فقط سه فایل جا گرفته است. منظورم از «ظاهراً» این است که سیستم‌عامل کامپیوتر می‌گوید سه فایل در آن وجود دارد. من می‌توانم از کامپیوتر بخواهم که یکی از آن سه فایل را برایم بخواند، و آن با یک رشته یک بُعدی از حروف الفبا، از جمله همین حروفی که شما مشغول خواندنش هستید، آن فایل را به من نشان می‌دهد. همه چیز خیلی منظم و مرتب به نظر می‌رسد. اما درواقع روی خود لوح، ترتیب متن خیلی منظم و مرتب نیست. اگر به اصل سیستم عامل توجه نکرده و خودتان برنامه‌ای برای رمزگشایی آن‌چه روی هر قطاع لوح نوشته شده بنویسید، آن را می‌بینید. معلوم می‌شود که قسمت‌هایی از سه فایل من به صورت نقطه‌های پراکنده و با فاصله از یکدیگر در میان فایل‌های قدیمی، که مدت‌ها پیش از لوح و از ذهنم پاک شده‌اند قرار داشته است. هر بخش خاصی ممکن است، دقیقاً به همان صورت، یا با تغییرات ناچیز در جاهای مختلف روی آن لوح پیدا شود.

این کار دلیل جالبی دارد و می‌ارزد برای شرح آن کمی حاشیه برویم چون به خوبی قابل مقایسه با ژن‌هاست. وقتی به کامپیوتر می‌گوییم فایلی را حذف کند، ظاهراً به دستور ما عمل می‌کند ولی در عمل آن متن را از روی لوح پاک نمی‌کند. فقط همه‌ی نشانگرهایی را که روی آن فایل می‌روند کنار می‌گذارد، درست مثل این

است که به یک کتاب‌دار بگویند کتاب *فاسق خانم چاترلی*[۱] را حذف کند و او کارت آن کتاب را از برگه‌دان خارج و پاره کند ولی خود کتاب در کتابخانه سرجایش باشد. برای کامپیوتر، این روش بسیار مقرون به صرفه است زیرا به محض این‌که نشانگر از روی آن فایل قدیمی کنار برود، فضایی که قبلاً با آن فایلِ حذف شده اشغال شده بود، اکنون می‌تواند مورد استفاده فایل‌های دیگر قرار گیرد. درواقع خالی کردن جاهای پر شده و آماده کردن آن‌ها برای استفاده‌ی مجدد، کاری بسیار وقت‌گیر است. خودِ فایل قدیمی تا وقتی‌که همه‌ی فضایش با ذخیره کردن فایل‌های جدید پر نشود، از بین نمی‌رود. اما این استفاده از فضای موجود تدریجی صورت می‌گیرد. اندازه هر فایلِ جدید لزومی ندارد که درست به اندازه فایل قبلی باشد. وقتی کامپیتر می‌خواهد فایل جدیدی را روی یک لوح ذخیره کند، در جستجوی اولین فضای خالی می‌گردد و در آن هر مقدار از فایل جدید را که بتواند جا می‌دهد و بعد دنبال بخش دیگری از فضای خالی می‌گردد، مقداری هم در آن می‌نویسد و همین‌طور ادامه می‌دهد تا تمام فایل را در آن لوح جا دهد. شخص به اشتباه احساس می‌کند که فایل، در لوح به صورت یک رشته‌ی منظم و واحد است، زیرا کامپیوتر مواظب است که نشانگر، آدرس همه‌ی بخش‌های یک فایل را که روی لوح پراکنده‌اند درست بدهد. نشانگرها مانند نشانه‌های «ادامه در صفحه‌ی ۹۴، [یا ادامه در صفحه‌ی فلان]» روزنامه‌ی نیویورک تایمز هستند. دلیل این‌که چرا چند رونوشت از هر قسمت آن متن در لوح یافت می‌شود، این است که اگر متن مثل همه‌ی فصل‌های این کتاب، چند بار ویرایش شده باشد، چند ویرایش متفاوت از آن ذخیره شده است اما چنان‌که دیدیم، متن درواقع در جاهای خالی موجود در لوح پراکنده است. از آن‌جا که در تمام سطح لوح می‌توان رونویسی‌های متعددی از یک قسمت خاص از متن را یافت، اگر لوح کهنه و زیاد استفاده شده باشد، [تعدادشان] بیش‌تر است.

اکنون سیستم‌عامل DNAی یک گونه جاندار چیزی بسیار قدیمی است و

[۱] Lady Chatterley's Lover، نام کتابی است از دی. اچ. لارنس، نویسنده‌ی انگلیسی.

شواهدی وجود دارند، کاری که در درازمدت انجام می‌دهد تا حدی مانند کاری است که کامپیوتر با فایل لوح‌ها می‌کند. بخشی از این شواهد از روی پدیده‌های جالب اینترون‌ها (introns) و اگزون‌ها (exons) به دست آمده‌اند. در دهه‌ی گذشته، کشف کرده‌اند که هر ژن، در متنی از DNA که یک جا خوانش می‌شود، همه‌اش در یکی ذخیره نمی‌گردد. اگر حروف رمزگذاری شده آن را به ترتیبی که در امتداد کروموزوم قرار گرفته بخوانیم (یعنی اصول سیستم‌عامل را نادیده بگیریم)، به پاره‌هایی معنی‌دار برمی‌خوریم که اگزون نامیده می‌شوند و در بین آن‌ها فاصله‌هایی بی‌معنی وجود دارد که اینترون نامیده می‌شوند. هر ژن در مفهوم کاربردی‌اش، درواقع رشته‌ای از پاره‌های معنی‌دار اگزون است که پشت سر هم قرار گرفته‌اند و در فاصله بین آن‌ها پاره‌های بی‌معنی اینترون آمده‌اند. ظاهراً در انتهای هر اگزون نشانگری می‌گوید «ادامه در صفحه‌ی ۹۴». به این ترتیب کل یک ژن از یک رشته کامل از اگزون‌هایی تشکیل شده که فقط وقتی‌که به وسیله‌ی سیستم‌عامل رسمی که آن‌ها را به پروتئین ترجمه می‌کند خوانش شوند، در عمل به هم تابیده می‌گردند.

شواهد دیگر، از این واقعیت حاصل می‌شوند که کروموزوم‌ها با متن‌های ژنی قبلی که دیگر مورد استفاده نیستند ولی هنوز مفاهیمی قابل تشخیص دارند، آلوده می‌شوند. برای یک برنامه‌نویس کامپیوتر، الگوی توزیع این «فسیل‌های ژنی» یادآور الگوی متن‌های روی یک لوح قدیمی‌اند که برای ویرایش متون بارها مورد استفاده واقع شده‌اند. بخش بزرگی از کل تعداد ژن‌ها در بعضی از انواع حیوانات هرگز خوانش نمی‌شود، زیرا آن ژن‌ها یا کاملاً بی‌معنی‌اند یا ژن فسیل‌شده‌ی تاریخ مصرف گذشته‌اند.

ولی فسیل‌های متنی هر از گاهی چنان‌که من هنگام نوشتن این کتاب تجربه کرده‌ام، دوباره جان می‌گیرند. یک اشتباه کامپیوتری (یا درواقع احتمالاً اشتباه انسانی) باعث شد تصادفاً لوحی که فصل ۳ روی آن بود پاک شود. البته خود کلمات متن پاک نشده بودند. آن‌چه پاک شده دقیقاً نشانگرهایی بودند که در محل

شروع و پایان اگزون‌ها بودند. سیستم‌عامل «رسمی» کامپیوتر نمی‌توانست چیزی را بخواند، اما من در نقش مهندس ژنتیک می‌توانستم به‌طور غیررسمی تمام متن روی آن لوح را بررسی کنم. آن‌چه دیدم معمای جورچینِ[۱] گیج‌کننده‌ای از قطعات متن بود. بعضی جدید بودند و بعضی فسیل. با کنار هم چیدن قطعات آن معما، توانستم آن فصل را دوباره سرهم کنم. اما تقریباً نمی‌دانستم که کدام قسمت جدید و کدام قسمت فسیل است. به جز تغییرات کوچک ویرایشی که باید صورت می‌گرفت زیاد فرق نمی‌کردند و تقریباً یکسان بودند. حداقل بعضی از آن فسیل‌ها یا اینترون‌های تاریخ مصرف گذشته دوباره جان گرفته بودند و در آن سرگردانی به دادم رسیدند و مرا از زحمت دوباره نوشتن همه‌ی آن فصل نجات دادند.

شواهدی در دست‌اند که ژن‌های فسیل شده‌ی گونه‌های جانداران، نیز گاهی بار دیگر جان می‌گیرند و بعد از حدود یک میلیون سال خواب، بار دیگر به کار می‌اُفتند. اگر وارد جزئیات شویم از موضوع اصلی این فصل دور می‌افتیم، یادتان هست که قبلاً هم کمی به حاشیه رفته بودیم. نکته اصلی این بود که کل ظرفیت ژنی یک نوع جاندار ممکن است به دلیل نسخه‌برداری از ژن‌ها افزایش یابد. یکی از روش‌های این کار استفاده مجدد از رونوشت‌های قدیمی «ژن فسیل شده‌ی» موجود است. روش‌های سریع‌تر دیگری وجود دارند که در آن‌ها ژن‌ها ممکن است روی قسمت‌های کاملاً پراکنده‌ای در کروموزوم‌ها رونویسی شوند. چنان‌که فایل‌ها روی قسمت‌های متفاوت یک لوح یا روی لوح‌های مختلف بازنویسی می‌گردند.

انسان‌ها هشت ژن جداگانه در کورموزوم‌های مختلف دارند که «ژن‌های گلوبین» نامیده می‌شوند (یکی از کارهای‌شان ساختن هموگلوبین است). تقریباً مطمئن هستم که همه این هشت ژن از تنها یک ژن «گلوبین اجدادی» رونویسی شده‌اند. آن ژن حدود ۱,۱۰۰ میلیون سال پیش رونویسی و به دو ژن تبدیل شده است. می‌توانیم از روی شواهدِ مستقلی، درباره سرعت معمول تکامل گلوبین‌ها، تاریخ این رویداد را

[۱] Jigsaw puzzle

پیدا کنیم (فصل‌های ۵ و ۱۱ را ببینید). از آن دو ژنی که از رونویسی اولیه پیدا شده‌اند، یکی نیای همه ژن‌هایی شد که در مهره‌داران هموگلوبین می‌سازند. دیگری نیای ژن‌هایی شد که myoglobins می‌سازند که خانواده‌ای از پروتئین‌ها است که در ماهیچه‌ها فعال‌اند. رونویسی‌های مختلف بعدی باعث پیدا شدن گلوبین‌های موسوم به آلفا، بتا، گاما، دلتا، اپسیلون و زتا شدند. جالب این‌جاست که از این ژن‌های گلوبین می‌توانیم یک شجره خانوادگی کامل بسازیم. و حتی تاریخ هر انشعاب را مشخص کنیم. (مثلاً، گلوبین‌های آلفا و بتا، حدود ۴۰ میلیون سال پیش، و گلوبین‌های اپسیلون و گاما حدود صد میلیون سال پیش از هم جدا شدند.) با این حال، این هشت گلوبین که اخلاف این انشعاب‌های دور از نیای دورتر هستند، همه‌شان هنوز در بدن هر یک از ما وجود دارند. آن‌ها روی قسمت‌های مختلف کروموزوم‌های یک نیای مشترک رفتند و روی کروموزوم‌های مختلف به هر کدام ما به ارث رسیدند. مولکول‌ها هم با مولکول‌های عموزاده‌های دور خود در یک بدن سهیم‌اند. مقدار زیادی از این بازنویسی‌ها بی‌شک، در سراسر کروموزوم و در درازمدت ادامه داشته است. این جنبه مهمی از زندگی واقعی است که از «بیومورف» فصل ۳ بسیار پیچیده‌تر است. «بیومورف‌ها» فقط ۹ ژن داشتند. آن‌ها با تغییر و تحول در آن ۹ ژن تکامل می‌یافتند و هرگز تعداد ژن‌ها به ده نمی‌رسید. این تکثیر حتی در جانوران واقعی تکثیر شدنی نیز آن‌قدر نادر است که نمی‌تواند به اعتبار این گفته کلی من لطمه‌ای وارد آورد که نظام نشانه‌گذاری DNA در همه اعضای یک گونه‌ی جاندار یکسان است.

نسخه‌برداری از افراد درون یک گونه جاندار تنها راه افزایش تعداد ژن‌های همکاری کننده در مسیر تکامل نیست. یک رخداد نادرتر، و احتمالاً بسیار مهم‌تر مشارکت گاه‌به‌گاهِ ژنی از یک گونه دیگر، حتی از یک گونه بسیار دور است. مثلاً، در ریشه بعضی از گیاهانِ خانواده‌ی نخود، هموگلوبین وجود دارد ولی در هیچ گیاه

دیگری وجود ندارد و به یقین به نحوی از یک عفونت مشترک،[۱] از حیوانات وارد خانواده نخود شده است، احتمالاً ویروس‌ها در این میان نقش واسطه را داشته‌اند.

بر اساس فرضیه پرطرفدار *لین مارگولیس*[۲] زیست‌شناس آمریکایی، حادثه مهمی در امتداد این خطوط، در پیدایش سلول هسته‌دار[۳] رخ داده است. سلول‌های هسته‌دار شامل همه سلول‌ها، جز سلول باکتری است. جهانِ زنده اساساً به دو بخش باکتری و غیرباکتری تقسیم می‌شود. ما جزء آن غیرباکتری‌ها هستیم. تفاوت عمده‌ی ما با باکتری در این است که درون سلول‌های ما سلول‌های ریزی متمایز از یکدیگر وجود دارند. این سلول‌های ریز، هسته دارند که جایگاه کروموزوم در آن است. و چیزهای ریز بمب مانندی به نام میتوکندری دارند، (آن‌ها را به‌طور گذرا در شکل ۱ دیده‌ایم)، و پُر از پوسته چین خورده و تا شده‌اند، در سلول هسته‌دار گیاهان، کلروپلاست وجود دارد. میتوکندری و کلروپلاست DNAی خاص خود را دارند که کاملاً مستقل از DNAی اصلی درون کروموزوم‌های هسته، خود را تکثیر و پراکنده می‌کند. تمام میتوکندری‌ها اخلاف جمعیت کوچکی از میتوکندری‌هایی هستند که از تخمک مادر منتقل شده‌اند. اسپرم‌ها ریزتر از آن‌اند که میتوکندری داشته باشند. بنابراین میتوکندری منحصراً در دودمان ماده‌ها انتقال می‌یابد و بدن‌های نر قادر به تولید میتوکندری نیست. ضمناً این بدان معنی است که می‌توانیم با استفاده از میتوکندری اجدادمان را ردیابی کنیم البته فقط در نسل‌های پیاپی ماده‌ها.

فرضیه *مارگولیس* این است که میتوکندری و کلروپلاست و چند ساختار دیگر درون سلول، همه از اخلاف باکتری‌ها هستند. احتمالاً سلولِ هسته‌دار دو میلیارد[۴] سال پیش شکل گرفته است. و آن موقعی بوده که چند باکتری به خاطر سودی که از

---

۱ Cross-Infection

۲ Lynn Margulis

۳ Eukaryote

۴ [در ترجمه‌ی چاپی به اشتباه دو میلیون ذکر شده است.]

بودن با هم حاصل می‌شده به یکدیگر پیوستند و نیروهای‌شان را یکی کردند و پس از این پیوند و پس از گذشت میلیاردها سال، به صورت یک واحد همکاری کننده در هم ادغام شدند. و سلول هسته‌دار را چنان ساختند که اکنون تقریباً غیرممکن است، این واقعیت را تشخیص دهیم که آن‌ها زمانی باکتری‌های جداگانه بوده‌اند.

ظاهراً وقتی سلول هسته‌دار پیدا شد، امکان یک سلسله از طرح‌های جدید به وجود آمد. از دیدگاه ما، جالب‌تر از همه این است که سلول‌ها توانستند، جانداران بزرگی، شامل چند میلیارد سلول بسازند. همه سلول‌ها در نتیجه تقسیم شدن به دو سلول زیاد می‌شوند. در دو سلول حاصل از تقسیم یک سلول مجموعه کاملی از ژن‌ها وجود دارد. چنان‌که در مورد باکتری‌های سرسنجاق ته‌گرد دیدیم، تقسیم متوالی سلول‌ها می‌تواند در زمانی بسیار کوتاه، تعداد بسیار زیادی سلول تولید کند. با یک سلول شروع می‌کنیم که پس از تقسیم دو تا می‌شود. هر یک از آن دو سلول بار دیگر تقسیم شده و چهار تا می‌شوند و ۴ سلول بار دیگر تقسیم شده و هشت تا می‌شوند. به این ترتیب با تقسیم و دو تا شدن از ۸ به ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۸، ۲۵۶، ۵۱۲، ۱۰۲۴، ۲۰۴۸، ۴۰۹۶، ۸۱۹۲ می‌رسیم. تنها بعد از ۲۰ بار تقسیم که چندان طول نمی‌کشد، به میلیون‌ها می‌رسیم. تعداد سلول‌ها بعد از ۴۰ بار تقسیم از یک تریلیون می‌گذرد. در مورد باکتری‌ها، تعداد بی‌شمار سلول‌هایی که با تقسیم متوالی ایجاد می‌شوند، هر کدام در مسیر جداگانه خود پیش می‌رود. در مورد بسیاری از سلول‌های هسته‌دار، از جمله جانوران تک سلولی مانند آمیب‌ها هم وضع به همین قرار است. ولی وقتی سلول‌هایی که با تقسیم پی‌درپی به وجود آمده بود، به جای این‌که با پیش رفتن در راه مستقل خود از هم دور شوند، به یکدیگر چسبیدند، گام مهمی در تکامل برداشته شد. از آن پس امکان ظهور ساختارهای دارای نظمِ بیش‌تر فراهم شد، درست همان‌طور که، در مقیاسی کوچک، «بیومورف‌های» کامپیوتری با دو شاخه شدن پیدا می‌شدند.

اکنون برای نخستین بار، امکان به وجود آمدن پیکرهای بزرگ پیدا شد. چنان‌که

بدن انسان درواقع جمعیت بزرگی از سلول‌هاست که همه زادگان یک نیای مشترک یعنی تخمک بارور شده، هستند و بنابراین همه عموزادگان، فرزندان، نوادگان و غیره سلول‌های دیگر بدن هستند. آن مجموعه دو تریلیون سلولی که بدن هر یک از ما را می‌سازد، محصول چند تقسیم پیاپی سلول‌هاست. این سلول‌ها تقریباً به ۲۱۰ نوع متفاوت (این تقسیم‌بندی تا حدی اختیاری است) تقسیم می‌شوند، همه این سلول‌ها از مجموعه یکسانی از ژن‌ها ساخته شده‌اند ولی در انواع متفاوت سلول‌ها مجموعه‌ی اعضای خاصی خوانش می‌شود. چنان‌که قبلاً دیده‌ایم، به همین دلیل است که سلول‌های جگر متفاوت از سلول‌های مغز و سلول‌های استخوان متفاوت از سلول‌های ماهیچه‌اند.

ژن‌هایی که در اعضا و الگوهای رفتار بدن پرسلولی‌ها در فعالیت‌اند، می‌توانند برای اطمینان از پراکنش خود به روش‌هایی دست یابند که چنین حالتی برای موجودات تک سلولی که به تنهایی کار می‌کنند مقدور نیست. بدن‌های پُرسلولی این امکان را برای ژن‌ها فراهم می‌آورده‌اند که با استفاده از ابزارهایی که از نظر بزرگی چند برابر یک سلول هستند، جهان را به نفع خود کنترل می‌کنند. آن‌ها این قدرت بزرگ و غیرمستقیم را از طریق تأثیری که به‌طور مستقیم روی سلول‌های ریز می‌گذارند، به دست می‌آورند. مثلاً، غشای سلول را تغییر می‌دهند. آن‌گاه، در جمعیت‌های بزرگ، با تأثیر بر یکدیگر، تأثیرهایی در مقیاس بزرگ، مانند دست یا پا یا (به‌طور غیرمستقیم) سد «بیدستر» را ایجاد می‌کنند. بیش‌تر آن ویژگی‌های یک موجود زنده را که می‌توانیم با چشم غیرمسلح ببینیم، ویژگی‌های ناگهانی[۱] نام دارند. حتی در آن بیومورف‌های کامپیوتری، که ۹ ژن داشتند هم ویژگی‌های ناگهانی وجود داشت. در جانوران واقعی ویژگی‌های ناگهانی از طریق تأثیر سلول‌ها بر همدیگر، در کل بدن به وجود می‌آیند. گرچه هر نسخه از یک ژن تأثیر آنی‌اش را فقط در سلول خودش بروز می‌دهد، ولی یک موجود زنده به عنوان یک ماهیت واحد در فعالیت

[۱] Emergent Properties

است و می‌توان گفت ژن‌ها بر کل بدن اثر می‌گذارند.

دیدیم که بخش مهمی از محیط یک ژن را ژن‌های دیگری تشکیل می‌دهند که آن ژن در توالی انتقال خود به بدن های متفاوت در معرض برخورد به آن‌ها قرار دارد. این ژن‌هایی هستند که درون آن‌گونه با یکدیگر ترکیب و جابه‌جا شده‌اند. در واقع، جانداری که از طریق جنسی تولید مثل می‌کند را می‌توان وسیله‌ای در نظر گرفت که هم‌نشینیِ مجموعه متمایزی از ژن‌هایی را که دو تا دو تا با هم در ترکیبات متفاوت قرار دارند، تغییر می‌دهد. از این منظر، یک گونه، مجموعه‌ای از ژن‌های جابه‌جا شونده است که مدام یکدیگر را در درون آن نوع جاندار ملاقات می‌کنند، ولی هرگز برخوردی با ژن‌های گونه‌های دیگر جانداران ندارند. اما ژن‌های گونه‌های متفاوت جاندران، حتی اگر در محدوده سلول با یکدیگر برخورد نداشته باشند، جزئی از محیط‌زیست یکدیگرند. رابطه آن‌ها بیش‌تر خصمانه است تا همکارانه، اما این را می‌توان تغییر نشانه (reversal of sign) تلقی کرد. در این‌جا به دومین موضوع اصلی این فصل، یعنی «مسابقه‌ی تسلیحاتی» می‌رسیم. مسابقه‌ی تسلیحاتی بین غالب و مغلوب، انگل و میزبان، حتی بین نر و ماده (که مبحث ظریف‌تری است و من وارد آن نمی‌شوم) وجود دارد.

مسابقات تسلیحاتی نه در طول عمر افراد، بلکه در طول زمان‌های تکامل در جریان‌اند. این مسابقات شامل پیشرفت‌هایی در تجهیزات لازم برای بقای یک دودمان (مثلاً، حیوانات مغلوب)، به عنوان پیامد مستقیم پیشرفت تکاملی در تجهیزات دودمان دیگری (مثلاً حیوانات غالب) هستند. هر جا که افراد دشمنانی داشته باشند که از نظر توانایی در پیشرفت تکاملی همسنگ آن‌ها باشند، «مسابقه‌ی تسلیحاتی» وجود خواهد داشت. من «مسابقه‌ی تسلیحاتی» را بسیار مهم قلمداد می‌کنم زیرا تا حد زیادی عامل محرک پیشروی‌هایی است که در تکامل رخ می‌دهند. زیرا، برخلاف دیدگاه‌های محدود قبل از این، در خود تکامل چیزی که حاکی از «پیشرفت» باشد وجود ندارد. وقتی توجه کنیم که تنها مشکل پیش روی جانوران

مسائل مربوط به آب و هوا و دیگر جنبه‌های غیرزنده محیطی است، بهتر متوجه اتفاقی که رخ داده است می‌شویم.

حیوانات و گیاهان بومی بعد از نسل‌های انتخاب انباشتی در یک مکان خاص با شرایطی مانند آب و هوای منقطه، به خوبی سازگار می شوند. اگر هوا سرد شده باشد، جانوران دارای پوشش ضخیم از مو یا پَر می‌شوند. اگر هوا خشک باشد، پوست‌های چرم مانند یا روغنی و ضدآب پیدا می‌کنند تا اندک آب بدن را حفظ کنند. این سازگاری با محیط زیست تمام قسمت‌های بدن شکل و رنگ، اعضای داخلی، رفتار و شیمی درون سلول‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

اگر شرایط زندگی دودمانی از جانوران بدون تغییر باشد، مثلاً هوای گرم و خشک، به همان صورت طی صد نسل باقی بماند، تکامل احتمالاً در آن دودمان حداقل در آن حوزه‌ای که به سازگاری با دما و رطوبت مربوط می‌شود، به توقف می‌رسد. حیوانات در بیش‌ترین حد ممکن با شرایط محیط سازگار می‌شوند. ولی منظور این نیست که به‌طور مطلق نمی‌توانند بهتر شوند. بلکه مفهوم آن این است که نمی‌توانند گام‌های کوچک (و بنابراین احتمالی) در جهت تکامل خود بردارند: هیچ یک از آن همسایگان بلافصل در آن فضای بومی که معادل «سرزمین بیومورف»هاست عمل‌کردی بهتر از دیگری ندارد.

اگر در شرایط تغییری رخ ندهد تکامل به سکون می‌رسد: شروع یک عصر یخبندان، تغییر در میانگین مقدار باران منطقه و تغییر جهت بادهای غالب. وقتی رخ می‌دهند که گستره زمانی، مانند دوران‌های تکامل، طولانی باشد. در نتیجه، به‌طور معمول تکامل به بن‌بست نمی‌رسد، بلکه همواره «پیگیر» تغییرات محیط زیست است. اگر میانگین دمای منطقه، سیر نزولی یکنواختی را طی کند، سیری که قرن‌ها ادامه داشته باشد، نسل‌های پیاپی جانوران تحت تأثیر «فشار» یک انتخاب یکنواخت در جهت، مثلاً رویش بیش‌تر پوشش مو، قرار خواهند گرفت. اگر بعد از

گذشت چند هزار سال از اُفت دما، وضع برگردد و جهت میانگین دما صعودی بشود، حیوانات تحت فشار انتخاب جدیدی قرار خواهند گرفت و بار دیگر در جهت رویش پوشش کوتاه‌تری پیش خواهند رفت.

تاکنون، فقط یک بخش محدود از محیط زیست، یعنی آب و هوا را منظور کردیم. این عامل برای جانوران و گیاهان بسیار مهم است، زیرا با گذشت قرن‌ها، الگوی آن تغییر می‌کند و باعث می‌شود تکامل همواره دنباله‌رو آن تغییرات باشد. تغییرات آب و هوا الگوی خاصی ندارند و بی‌نظم‌اند. بخش‌های دیگری از محیط زیست وجود دارند که به صورت منظم‌تر در تغییرند و آن‌ها نیز باید پیگیری شوند. این بخش‌های محیط زیست، خود جاندارانند. برای یک جانور غالب، مانند کفتار، بخشی از محیط زیست، که دست کم به اندازه آب و هوا اهمیت دارد، طعمه اوست، مثلاً جمعیت در حال تغییر گاو وحشی آفریقایی، گورخر و غزال. برای غزال و دیگر علف‌خواران دشت‌ها، نیز وضع آب و هوا ممکن است مهم باشد، ولی شیر و کفتار و دیگر گوشت‌خواران نیز مهم‌اند. همان‌طور که انتخاب انباشتی پیگیر تغییرات مربوط به شرایط آب و هوایی فراگیر است و جانوران خود را با آن متناسب می‌کنند، به همان اندازه دست‌اندرکار متناسب ساختن جانوران برای گریز از شکارچی‌ها یا متناسب نمودن حیوانات غالب برای فریفتن طعمه‌شان است. تکامل، درست همان‌طور که فراز و نشیب آب و هوا را در درازمدت پیگیری می‌کند، به تغییراتی که در عادت‌ها یا روش‌های حمله جانوران غالب برای گرفتن طعمه خود پیدا می‌شود نیز توجه دارد و البته عکس آن هم صادق است.

جاندارنی را که شرایط زندگی را مشکل می‌کنند می‌توانیم دشمن بنامیم، مانند شیر که دشمن گورخر است. اگر به عکس بگوییم «گورخر دشمن شیر است»، نادرست خواهد بود زیرا گورخر نمی‌تواند دشمن باشد. نقش گورخر در این رابطه مظلومانه‌تر از آن است که `دشمن` محسوب شود. اما گورخرها هر کاری که در قدرت‌شان باشد انجام می‌دهند که طعمه شیرهای نشوند و این از نظر شیر، یعنی

سخت شدن زندگی. اگر گورخر و دیگر علف‌خواران در اهداف‌شان موفق می‌شدند، شیرها از گرسنگی می‌مردند، پس بر اساس تعریف ما، گورخر، دشمنِ شیر است. انگل‌هایی مثل کرم روده دشمن میزبان خود هستند. میزبان هم دشمن انگل است زیرا تلاش می‌کند مقاومت نماید. گیاه‌خواران دشمن گیاهان‌اند و گیاهان تا آن حد که خار و تیغ و ترکیبات سمی و بد طعم می‌سازند دشمن گیاه‌خواران.

دودمان‌های جانوران و گیاهان در جریان تکامل تغییرات دشمنان خود را با همان پشتکاری که در پیگیری تغییرات جوی دارند پیگیری می‌کنند. پیشرفت تکامل یوزپلنگ در طرز حمله و سلاح از نظر غزال، مانند بدتر شدن تدریجی آب و هواست که به‌طور مشابه پیگیری می‌شود. اما بین این دو تفاوت مهمی وجود دارد: آب و هوا، با گذشت قرن‌ها، تغییر می‌کند ولی در این تغییر قصد و غرض خصمانه‌ای وجود ندارد. دنبال غزال نمی‌دود که بگیردش. یک یوزپلنگ معمولی، درست مثل میانگین باران سالانه تغییر می‌کند، اما میانگین باران سالانه، بدون هیچ دلیل یا آهنگ خاصی تغییر می‌کند در حالی‌که مهارت یوزپلنگ معمولی برای گرفتن غزال نسبت به اجدادش باگذشت زمان بهتر می‌شود. دلیل این است که توالی یوزپلنگ‌ها، برخلاف توالی شرایط آب و هوایی سالانه، در معرض «انتخاب انباشتی» قرار دارد. یوزپلنگ‌ها به تدریج دارای پاهایی چابک‌تر، دید تیزتر و دندان‌های بُرنده‌تر می‌شوند. آب و هوا و دیگر شرایط غیرزنده هر قدر «دشمن» باشند، هیچ گرایشی به این‌که به تدریج «دشمن‌تر» شوند ندارند. اگر دشمنان زنده را در جریان مقیاس زمانی تکاملی، در نظر بگیریم، دقیقاً دارای چنین تمایلی هستند.

بنزین ماشین تمایل گوشت‌خواران برای این‌که به تدریج «بهتر» شوند درست مثل رقابت تسلیحاتی انسان‌ها خیلی زود ته می‌کشد (به دلیل هزینه‌هایی که دارد و ما بعداً به آن خواهیم پرداخت). البته در صورتی که گرایشی به موازات آن در جانوران طعمه وجود نداشته باشد و برعکس. غزال‌ها، به اندازه یوزپلنگ، در معرض «انتخاب انباشتی»اند، و آن‌ها هم با گذشت نسل‌ها، تمایل دارند توانایی سرعت در

فرار را بیش‌تر کنند، سریع‌تر واکنش نشان دهند و در علف‌های بلند از دید پنهان شوند. آن‌ها نیز این توانایی را دارند که در جهتی تکامل یابند که دشمن بهتری شوند، از نظر دشمنی با یوزپلنگ. یوزپلنگ از جهت متوسط دمای سالانه به صورتی سامان‌یافته بهتر یا بدتر نمی‌شود، مگر در آن حد که برای جانوری که سازگاری خوبی یافته هر تغییر یک گام در جهت بدتر شدن اوضاع باشد. اما میانگین سالانه غزال تمایل دارد که به صورتی سامان‌یافته کاهش یابد. گرفتنش سخت‌تر شود زیرا برای گریز از یوزپلنگ بهتر عمل می‌کند. اگر تمایلی در حیوانات غالب وجود نداشت تمایل غزال هم به پیشرفت مستمر به بن‌بست می‌رسید. یک طرف کمی بهتر می‌شود چون طرف دیگر بهتر شده است و برعکس. اگر این فرایند در درازمدت یعنی مثلاً صدها هزاران سال در جریان باشد، به یک دور باطل تبدیل می‌شود.

در مورد دنیای ملت‌ها که مقیاس زمانی کوتاه‌تری دارند، وقتی هر یک از دو طرف در پاسخ به پیشرفت طرف دیگر، مدام در پی تقویت تسلیحاتی باشد بحث «رقابت تسلیحاتی» مطرح می‌شود. تکامل هم آن‌قدر شباهت به این قضیه دارد که توانسته‌ایم اصطلاح آن را وام بگیریم و من لزومی نمی‌بینم که در این باره از آن همکار بلند مرتبه‌ای که ما را از کاربرد چنین تشبیهی نهی می‌کند، عذرخواهی کنم. من این موضوع را در قالبِ نمونه‌ی ساده‌ی یوزپلنگ و غزال به تصویر کشیده‌ام تا منظورم از تفاوت مهمی که بین دشمن زنده‌ای، که خودش در معرض تغییرات تکاملی است را با دشمن غیرزنده و بی‌طرف، شرایطی مانند آب و هوا، که در معرض تغییر قرار دارد ولی نه آن نوع تغییر سامان‌دار و تکاملی، روشن کنم. اما وقت آن رسیده است که قبول کنم در توضیح این نکته مهم، ممکن است تصور غلطی در خواننده ایجاد کرده باشم. بدیهی است وقتی به تصویری که من از مسابقه مدام در حال پیشرفت ایجاد کرده‌ام با دقت توجه شود، آن را لااقل از یک نظر، بیش از حد ساده خواهید یافت. اگر سرعت دو را در نظر بگیرید در «مسابقات تسلیحاتی» بین یوزپلنگ و غزال کار باید به جایی می‌رسید که در درازمدت، سرعت آن‌ها از سرعت

صوت بیش‌تر می‌شد. ولی چنین نشده و نخواهد شد. قبل از این‌که دوباره سراغ «مسابقه‌ی تسلیحاتی» برویم، لازم است این سوء تعبیر را از میان بردارم.

نخستین تعبیر این است. تصوری که من از یک پیشرفت یکنواخت رو با بالا در توانایی شکار طعمه در پوزپلنگ و توانایی فرار از یوزپلنگ در غزال ایجاد کرده‌ام، ممکن است خواننده را به این نتیجه فوری برساند که پیشرفت، بدون وقفه است و هر نسل تواناتر و دقیق‌تر و شجاع‌تر از والدینش است. اما واقعیت در طبیعت غیر از این است. زمان لازم برای بررسی پیشرفت‌های چشمگیری که در هر مورد رخ می‌دهند احتمالاً بسیار طولانی‌تر از زمانی هستند که یک نسل نمونه یا اسلافش ردیابی گردد. از این گذشته برای این نوع پیشرفت نمی‌توان از صفات «پیوسته» یا «مستمر» استفاده کرد، زیرا نامنظم و گسیخته است. گاهی به حال رکود در می‌آید یا حتی به جای این‌که به پیش و در جهتی که در مفهوم «مسابقه‌ی تسلیحاتی» مطرح شد، پس می‌رود. برای یک مشاهده‌گر روی زمین تغییر شرایط، تغییر در نیروهای غیرزنده‌ای که من آن‌ها را تحت عنوان آب و هوا یک‌کاسه کرده‌ام، احتمالاً روند کُند و بی‌نظم «مسابقه‌ی تسلیحاتی» را در خود مستحیل می‌کند. ممکن است در بعضی از دوره‌ها، هیچ «پیشرفتی» در «مسابقه‌ی تسلیحاتی» صورت نگیرد و شاید اصلاً هیچ تغییر تکاملی رخ ندهد. «مسابقات تسلیحاتی» گاهی به انقراض می‌انجامد و یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی» جدید از سر گرفته می‌شود. با وجود همه این بحث‌ها، هنوز قانع‌کننده‌ترین توضیح برای وجود دستگاه‌های پیچیده و پیشرفته‌ای که جانوران و گیاهان دارند، همان صورت ذهنی «مسابقه‌ی تسلیحاتی» است. آن نوع پیشرفت تدریجی که «مسابقه‌ی تسلیحاتی» القاء می‌کند، همچنان ادامه دارد، اگرچه گاهی دوره‌ای است که با وقفه‌های همراه است، یا حتی نرخ خالص سرعت آن کندتر از آن است که بتواند در طول عمر یک انسان یا حتی در گستره‌ای از زمان که دارای تاریخ مکتوب است پیگیری شود.

دومین تعبیر این است که رابطه‌ای که من آن را «دشمنی» می‌نامم، بسیار

پیچیده‌تر از رابطه دو طرفه‌ای است که در ماجرای یوزپلنگ و غزال مطرح شده است. مسئله این است که یک نوع جاندار فرضی ممکن است دو (یا تعداد بیش‌تر) دشمن داشته باشد که خود آن‌ها دشمنان سخت‌تری برای یکدیگر باشند. این اصلِ پنهان در پشت این «نیمه حقیقت» وجود دارد که علف از چریده (یا بریده) شدن سود می‌برد. گله علف را می‌خورد، بنابراین می‌شود آن را دشمن علف دانست. اما علف در جهان گیاهان، دشمنان دیگری نیز دارد، علف‌های هرزی که رقیب یکدیگرند، اگر بدون مانع به رشد خود ادامه دهند، ممکن است دشمنان جدی‌تر از گله از آب در آیند. علفزار تا اندازه‌ای از چرای گله در رنج است ولی علف‌های هرز رقیب، از این نظر بیش‌تر در عذابند. بنابراین در نهایت چرای گله برای علف، خالی از فایده نیست. از این منظر، گله بیش‌تر دوست علفزار به شمار می‌آید تا دشمن آن.

به هر حال، از این نظر که هنوز به سود یک تک گیاهِ منفرد است که به وسیله گاو خورده نشود و هر گیاه جهش‌یافته‌ای که مثلاً یک وسیله دفاع شیمیایی داشته باشد که خود را در مقابل گاوها از گیاهان رقیب هم‌نوع خود که برای گاوها خوشمزه‌ترند حفظ کند، دانه‌های بیش‌تری به زمین خواهد ریخت (دانه‌هایی که شامل دستورالعمل ژنتیکی برای ساخت آن وسیله دفاع شیمیایی‌اند). حتی اگر این درست باشد که گاو «دوست» علف است، انتخاب طبیعی به آن علف‌هایی که با خورده شدن توسط گاو میدان را خالی کرده‌اند، عنایتی ندارد! نتیجه کلی این پاراگراف آن است که گرچه راحت است یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی» بین دودمان‌های گاو و علف و یا غزال و یوزپلنگ در نظر بگیریم، هرگز نباید این واقعیت را از نظر دور بداریم که این هر دو دشمنان دیگری نیز دارند و همزمان در مقابل آن‌ها نیز «مسابقات تسلیحاتی» دیگری را پیش می‌برند. از این‌جا به بعد موضوع را ادامه نمی‌دهم، ولی می‌توان برای بسط و توضیح دلیل این‌که چرا «مسابقات تسلیحاتی» به حالت موازنه در می‌آیند و مدام پیش نمی‌روند و منجر به این نمی‌شوند که جانورانِ غالب طعمه‌ی خود را با دو برابر سرعت صوت و غیره دنبال کنند از آن استفاده کرد.

سومین «تعبیر» مسابقه‌ی تسلیحاتی ساده چندان هم پُراهمیت نیست ولی نکته قابل توجهی دارد. من در بحث فرضی غزال و یوزپلنگ گفتم که یوزپلنگ، برخلاف آب و هوا، تمایل دارد که با گذشت نسل‌ها شکارچی بهتر و دشمن سرسخت‌تر و در کُشتن غزال چابک‌تر شود. اما منظور این نیست که در «مسابقه‌ی تسلیحاتی» یوزپلنگ‌ها واقعاً در شکار غزال موفق‌تر می‌شوند. لُب کلام این است که دو طرف این رقابت، از نظر خود در حال پیشرفت‌اند و همزمان با آن زندگی را برای طرف مقابل مشکل می‌کنند. (لااقل در مواردی که تا کنون مورد بحث قرار داده‌ایم) دلیل خاصی وجود ندارد که انتظار داشته باشیم هر یک از دو طرف این مسابقه نسبت به دیگری به تدریج موفق یا ناموفق‌تر گردد. مفهوم «مسابقه‌ی تسلیحاتی» در حقیقت در خالص‌ترین صورت خود این است که، گرچه پیشرفت مشخصی در تجهیزات هر دو طرف مشاهده می‌شود، میزان پیشرفت موفقیت برای هر دو طرف صفر است. جانوران غالب آمادگی بهتری برای کشتن پیدا می‌کنند ولی همزمان با آن جانورانِ طعمه به آمادگی بهتری برای فرار دست پیدا می‌کنند. به این ترتیب، در نتیجه‌ی میزانِ کُشتارِ موفقیت‌آمیز تغییر حاصل نمی‌شود.

مسئله این است که اگر حیوانات غالب مربوط به یک دوره با استفاده از ماشین زمان، می‌توانستند با طعمه‌هایی مربوط به دوره دیگر ملاقات کنند، آن‌ها که مربوط به دوره‌ی جدیدتر بودند، چه غالب چه مغلوب، موفق‌تر از آن قدیمی‌ترها عمل می‌کردند. اگرچه بعضی‌ها فکر می‌کنند بعضی جانورانِ منزوی در سرزمینی مانند استرالیا یا ماداگاسکار را می‌توان به جای حیوانات قدیمی در نظر گرفت، طوری‌که سفر به استرالیا، مانند سفری به عقب، با ماشین زمان باشد انجام چنین آزمایشی عملی نیست. این افراد فکر می‌کنند که انواع جانداران بومی استرالیا به وسیله‌ی رقبای برتر یا دشمنانی که از دنیای دیگری وارد شده‌اند منقرض می‌شوند، زیرا گونه‌های بومی، قدیمی‌تر و منقضی شده‌اند، درست مانند همان وضعیتی که ناوگان

دریایی جوتلند[۱] در رویارویی با زیردریایی هسته‌ای می‌توانست داشته باشد. اما این فرض که استرالیا دارای مجموعه‌ای از جانورانی است که درواقع فسیل زنده‌اند چندان قابل توجیه نیست. شاید بتوان مورد جالبی را یافت، ولی بعید است. احتمالاً این نظر چیزی بیش از یک خودستایی عوامانه نیست و با نگرشی قابل مقایسه است که هر استرالیایی را آدمی نابه‌هنجار و زُمخت، ولی پُر زِست و ادا می‌داند که در زیر کلاهش خبری نیست ولی از دورِ لبه‌ی آن چوپ پنبه آویزان است. Leigh van valen زیست‌شناس آمریکایی، به اصل تغییر صفر در میزان موفقیت، بدون در نظر گرفتن پیشرفت تکاملی در تجهیزات، نام فراموش نشدنی «اثر ملکه سرخ» را داده است. یادتان می‌آید که در *از درون آینه*،[۲] ملکه سرخ، دست *آلیس* را گرفته و او را در حالت جنون‌آمیزی هر چه سریع‌تر دنبال خود می‌کشید، در آن حومه شهر مهم نبود که با چه سرعتی می‌دویدند چون همیشه در یک جا بودند. *آلیس* گیج شده بود و می‌گفت: آخر در کشور ما آدم وقتی تند بدود معمولاً به جای دیگری می‌رسد. ملکه گفت: «ما هم داریم همین کار را می‌کنیم. این نوعی کشور کُند است! اکنون برای ماندن در همین جا، باید با همه قدرتت بدوی. اگر می‌خواهی به جای دیگری برسی، باید دست‌کم سرعتت را دو برابر کنی!»

ملکه سرخ عنوان جالبی است ولی اگر پیشرفت نسبیِ صفر در مفهوم دقیق ریاضی آن در نظر گرفته شود، ممکن است گمراه‌کننده باشد (و گاهی هم هست). یک جنبه دیگر داستان «آلیس» که می‌تواند گمراه‌کننده باشد این است که در این داستان سخنان «ملکه سرخ» متناقض است و با عقل سلیم در دنیای واقعی جور درنمی‌آید. اما در «اثر ملکه سرخ» مربوط به تکامل که «ون والن» مطرح کرده اصلاً تناقض وجود ندارد، و البته اگر هوشمندانه به کار گرفته شود، کاملاً مطابق با عقل سلیم است. اگر «مسابقه‌ی تسلیحاتی» متناقض نباشد، می‌تواند شرایطی به وجود

---

[۱] Jutland، شبه جزیره‌ای در شمال اروپا که درگیر جنگ جهانی اول بود.

[۲] Through the looking Glass، نام کتابی که دنباله‌ی *آلیس در سرزمین عجایب* است.

آورد که انسانِ دارای ذهن اقتصادی را به عنوان افراطکار مورد حمله قرار دهد.

مثلاً چرا درخت‌ها در جنگل این اندازه بلندند؟ یک جواب مختصر این است که همه‌ی درخت‌ها بلندند و بنابراین هیچ درختی نمی‌تواند غیر از این باشد. اگر درختی غیر از این بود، در سایه‌ی درختان دیگر قرار می‌گرفت. حقیقت هم همین است ولی برای انسانی که ذهنش اقتصادی شده، چندان خوشایند نیست و بی‌ربط و بی‌حساب به نظر می‌رسد. وقتی همه درختان به بلندی چتر[۱] جنگل برسند، همه تقریباً به یک اندازه در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند و برای هیچ‌کدام به صرفه نیست که کوتاه‌تر باشد. ولی اگر همه کوتاه‌تر بودند و اگر طبق یک توافق تجاری بین همه قرار بود که ارتفاع چتر جنگل را پایین‌تر بیاورند، به نفع همه بود، همه در آن ارتفاع برای رسیدن به نورِ یکسان رقابت می‌کردند، ولی بهایی که برای رسیدن به حد چتر جنگل می‌پرداختند، بسیار کمتر و از نظر اقتصادی به نفع کل جنگل و به نفع هر درخت بود. متأسفانه، برای انتخاب طبیعی، اقتصاد کلی اهمیتی ندارد و جایی برای کارتل‌ها و توافق‌نامه‌ها وجود ندارد. طی یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی» در گذر از نسل‌هاست که درختانِ جنگل بزرگ‌تر شده‌اند. در هر صحنه این رقابت، هیچ سودی ذاتی در بلند بودن به خاطر خودبلندی وجود ندارد. در هر مرحله‌ی این مسابقه تنها فایده‌ی بلند بودن در این است که در مقایسه با درختان گرداگرد نسبتاً بلندتر باشند.

میانگین ارتفاع درختان چتر جنگل، با پیشرفت «مسابقه‌ی تسلیحاتی» بالا رفت. اما سودی که درختان از بلند بودن می‌برند بیش‌تر نشد بلکه، در عمل، کمتر هم شد. زیرا هزینه‌های رشد افزایش یافت. درختان، در نسل‌های پی‌درپی، بلند و بلندتر شدند، اما در پایان بهتر بود همان‌طور که بودند می‌ماندند. به این ترتیب این‌جا هم همان قضیه «آلیس» و «ملکه سرخ» خودنمایی می‌کند. ولی می‌بینیم که در مورد درخت‌ها خیلی متناقض نیست. این مشخصه‌ی عمومی «مسابقات تسلیحاتی»، از جمله رقابت‌های بین انسان‌هاست که گرچه برای همه بهتر است کسی پیشی نگیرد

[۱] Canopy

ولی وقتی یکی جلو می‌زند دیگران نمی‌توانند دست روی دست بگذارند و تحمل کنند. در هر صورت، بار دیگر تأکید می‌کنم که داستان را بسیار ساده کرده‌ام. منظور این نیست که دقیقاً در هر نسل درخت‌ها از همانندهای خود در نسل قبل بلندترند یا آن مسابقه حتماً هنوز ادامه دارد.

نکته‌ی دیگری که در مورد درخت نشان داده شده این است که لزومی ندارد «مسابقه‌ی تسلیحاتی» فقط بین افراد گونه‌های متفاوت جانداران برقرار باشد. هر درخت به همان اندازه که ممکن است در سایه افرادِ گونه‌های دیگر قرار بگیرد و محروم باشد، امکان دارد در سایه افراد گونه‌ی خود واقع شود. احتمالاً اغلب این‌طور است، زیرا همه جانداران را بیش‌تر رقابت افراد گونه‌ی خود تهدید می‌کند تا رقابت افراد گونه‌های دیگر. همه افراد یک گونه، برای رسیدن به منابع واحدی، در حد بسیار دقیق‌تری با پرداختن به جزئیات، با یکدیگر رقابت دارند تا نسبت به افراد گونه‌های دیگر. درون یک گونه‌ی جاندار نیز «مسابقه‌ی تسلیحاتی» بین نقش‌های نر و ماده و نقش‌های والد و فرزند در جریان است. من در کتاب *ژن خودخواه* به این موضوع پرداخته‌ام و در این‌جا آن را ادامه نمی‌دهم.

ماجرای درخت این امکان را به من می‌دهد که تمایز مهمی بین دو نوع «مسابقه‌ی تسلیحاتی» معرفی کنم. «مسابقه‌ی تسلیحاتی متقارن» و «مسابقه‌ی تسلیحاتی نامتقارن». در اولی دو طرف رقیب کمابیش کار یکسانی انجام می‌دهند، نمونه این نوع «مسابقه‌ی تسلیحاتی»، رقابت بین درخت‌های جنگل برای رسیدن به نور است. همه‌ی گونه‌های مختلف درختان موارد مورد نیاز خود را به صورت کاملاً یکسان به دست نمی‌آورند. ولی تا آن‌جا که به آن مسابقه خاصی که ما درباره‌اش صحبت می‌کنیم مربوط می‌شود – رقابت بر سر نور آفتاب در بالای چتر جنگل – همه رقبا برای رسیدن به یک منبع در تلاشند. آن‌ها درگیر مسابقه‌ای شده‌اند که پیروزی یک طرف، به معنی شکست طرف مقابل است. این یک مسابقه متقارن است زیرا سرشت پیروزی و شکست در هر دو طرف یکسان است: دریافت نور

خورشید و در سایه واقع نشدن.

اما مسابقه تسلیحاتی بین یوزپلنگ و غزال نامتقارن است. مسابقه‌ای است واقعی که در آن پیروزی هر یک از دو طرف به معنی شکست دیگری است، اما سرشت پیروزی و شکست در آن با هم فرق دارد. دو طرف کارهای بسیار متفاوت انجام می‌دهند: یوزپلنگ سعی می‌کند غزال را بگیرد و بخورد. غزال قصد خوردن یوزپلنگ را ندارد ولی سعی می‌کند از آن فرار کند تا خورده نشود. «مسابقه‌ی تسلیحاتی نامتقارن» از نظر تکامل جالب‌تر است زیرا احتمال این‌که در آن نظام‌های تسلیحاتی پیچیده‌تر تولید شوند، بیش‌تر است. با بررسی نمونه‌هایی از تکنولوژی تسلیحاتی انسان‌ها، دلیل آن را در می‌یابیم.

می‌توانستم از کشورهای آمریکا و جماهیر شوروی [سابق] استفاده کنم ولی لزومی ندارد از کشورهای خاصی نام ببرم. تسلیحات ساخته شده در شرکت‌های هر کشور پیشرفته صنعتی را سرانجام کشورهای مختلف می‌خرند. وجود سلاح تهاجمیِ کارآمد، مانند موشک‌های زمین‌پیما از نوع «اکزوست» اختراع ضد خود را «می‌طلبد»، مانند دستگاهی که در امواج رادیویی اختلال ایجاد کرده و کنترل موشک را گمراه می‌کند. بیش‌تر احتمال دارد که چنین چیزی در کشور دشمن ساخته شود ولی ممکن است توسط، همان سازمان نیز ساخته گردد. بالاخره هیچ سازمانی نمی‌تواند برای طراحی و ساخت وسیله‌ای که در کنترل موشک اختلال ایجاد کند، بهتر از خود سازمان سازنده‌ی آن موشک باشد. کاملاً محتمل است که هر دوی آن‌ها را یک سازمان بسازد و به طرف‌های درگیر جنگ، بفروشد. به نظر من چنین اتفاقاتی رخ می‌دهند و این قضایا به وضوح نشانگر آن است که تجهیزات، پیشرفته می‌شوند بدون آن‌که تأثیر آن‌ها تغییر کند (فقط هزینه‌ها افزایش می‌یابند).

این مسئله که تولیدکنندگان که در طرف‌های مقابل هم در یک «مسابقه تسلیحاتی» انسانی قرار دارند دشمن یکدیگرند یا از دیدگاهی که اکنون نسبت به

موضوع داریم با هم یکی هستند و این امری جالب است. مهم این است که جدای تولیدکننده‌ها، خود آن وسایل، بر اساس تعریفی که من در این فصل از دشمن داشتم، دشمن یکدیگرند. آن موشک و وسایل خاصی که در کار آن اختلال ایجاد می‌کند، از این نظر دشمن هستند که موفقیت یکی مترادف با شکست دیگری است و این موضوع به این‌که سازنده‌های آن‌ها دشمن باشند یا نباشند ربطی ندارد، البته راحت‌تر این است که آن‌ها را دشمن فرض کنیم.

تا این‌جا از نوعی موشک و وسیله‌ی ضد آن صحبت کردیم بدون آن‌که روی جنبه‌ی تدریجی و تکاملی قضیه که دلیل اصلی مطرح کردن این موضوع در این فصل است تکیه کنیم. نکته اصلی فقط نه این است که آن موشک، یک ضد مناسبت خود، مثلاً وسیله‌ای برای اختلال در امواج را می‌طلبد بلکه آن ضد موشک نیز، به نوبه‌ی خود، موجب تغییری در طرح موشک می‌شود و آن پیشرفتی است که دقیقاً ضد آن موشک می‌کند؛ یک وسیله‌ی ضد موشک تقریباً این‌طور است که هر پیشرفت در موشک با تأثیری که روی ضد خود می‌گذارد، انگیزه‌ای برای ایجاد پیشرفتی دیگر می‌شود. این دستورالعمل تکامل انفجاری و افسارگسیخته است.

چند سال پس از گذشت این اختراع، و ضد پرحرارت آن، نوع معمول آن موشک و ضدش به درجات بسیار بالایی از دقت و پیچیدگی می‌رسند، اما در عین حال، دلیلی برای این‌که توقع داشته باشیم عمل‌کرد هر یک از دو طرف موفق‌تر از زمان شروع رقابت باشد، وجود ندارد. این هم موردی از «اثر ملکه سرخ» است. درواقع وقتی موشک و ضد آن، هر دو یکسان پیشرفت کنند می‌توانیم انتظار داشته باشیم که آخرین و پیشرفته‌ترین و دقیق‌ترین و اولین و ابتدایی‌ترین و ساده‌ترین نوع در مقابل ابزارهای دفاعی هم دوره‌ی خود، از نظر درجه‌ی موفقیت، شبیه هم باشند. در طراحی و ساخت، پیشرفت‌هایی صورت گرفته است ولی در دستاورد خیر، مخصوصاً به این دلیل که پیشرفت هر دو طرف یکسان بوده است. علت واقعی این است که تقریباً در هر دو طرف پیشرفت یکسان در ترازهای دقت طراحی و ساخت،

صورت گرفته است. اگر یک طرف، مثلاً ابزاری که در امواج موشک اختلال ایجاد می‌کرد، در این مسابقه بسیار جلو می‌افتاد، موشک به راحتی از دور خارج و دیگر تولید نمی‌شد و منقرض می‌گشت. برخلاف مورد نمونه‌ی اصلی «آلیس» که تناقض داشت «اثر ملکه سرخ» در بافت این «مسابقه‌ی تسلیحاتی»، اساسِ مفهومِ پیشرفتِ مستمر از آب در می‌آید.

گفتیم احتمال این‌که «مسابقه‌ی تسلیحاتی نامتقارن» پیشرفت‌های مستمر جالبی داشته باشد بیش‌تر از « مسابقه‌ی تسلیحاتی متقارن» است. اکنون با استفاده از بررسی ابزارهای جنگی ساخت بشر، علت آن را به تصویر می‌کشیم. اگر ملتی یک بمب دو مگاتنی داشته باشد، دشمنش یک بمب پنج مگاتنی می‌سازد. این کار باعث می‌شود که اولی ۱۰ مگاتنی در مقابل آن دومی ۲۰ مگاتنی بسازد و بر این قیاس. این یک مسابقه‌ی واقعی است: هر پیشرفت در یک طرف، باعث ایجاد پیشرفت در طرف مقابل می‌شود و نتیجه‌ی آن افزایش یکنواختی در بعضی ویژگی‌ها – در این مورد نیروی انفجار بمب‌ها – به مرور زمان است. اما در چنین مسابقه‌ی متقارنی هیچ ارتباط دقیق و یک به یکی بین جزئیات طرح‌ها، آن‌طور که در «مسابقات تسلیحاتی نامتقارن» مثلاً در موشک و ابزار ضد آن دیده می‌شود، وجود ندارد. ابزار اختلال در امواج دقیقاً طوری طراحی شده که آن موشک خاص را از بین ببرد. برای سازنده‌ی این ضدموشک دانستن جزئیات ساخت آن موشک مهم است و آن‌ها را در نظر می‌گیرد. بعد در ساخت ضد آن ضدموشک، طراح موشک‌های نسل بعد از دانش به کار رفته در جزئیات طرح آن ضدموشک نسل قبل استفاده می‌کند. این در مورد بمب‌هایی که مدام رو به افزایش وزن هستند صادق نیست. بی‌شک، طراحان یک طرف ممکن است، نقشه‌های خوب طرف مقابل را کِش بروند یا بعضی از مشخصات طرح آن را تقلید کنند. اما اگر چنین باشد، اتفاقی است و لزومی ندارد که نقشه یک بمب روسی دقیقاً از نظر جزئیات، ارتباط تنگاتنگی با فلان بمب آمریکایی داشته باشد. ولی در مورد دودمان یک نوع سلاح و دودمان ضد آن چنین

ارتباط تنگاتنگی وجود دارد و با گذشت نسل‌های پی‌درپی، منجر به پیدایش ظرافت و پیچیدگی بیش‌تر می‌شود.

در جهانِ جانداران هم، هر جایی که با محصول نهاییِ یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی» طولانیِ نامتقارن سروکار داریم باید انتظار یافتن طرح‌های پیچیده و مفصل را داشته باشیم که در مسابقاتی که پیشروی هر طرف، همیشه پیشروی یک به یک و بر اساس چشم در برابر چشم را برای ضد خود به بار آورده است. این قضیه آشکارا در مورد «مسابقه‌ی تسلیحاتی» بین جانوران غالب و مغلوب، حتی بیش‌تر از آن، در مورد مسابقات تسلیحاتی بین انگل و میزبان صادق است. در نظام سلاح‌های «الکترونیکی» و «صوتی» خفاش‌ها، که در فصل دوم مورد بحث قرار داده‌ایم، همه‌ی آن دقت سازمان یافته‌ای که از نتیجه یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی» طولانی انتظار داریم، وجود دارد. یافتن چنین دقتی در ابزار طرف مقابل تعجب ندارد. در حشراتی که طعمه خفاش می‌شوند نیز مجموعه‌ای از ابزارهای «الکترونیکی» و «صوتی» قابل مقایسه با خفاش وجود دارد. حتی بعضی از «بیدها» صدای مافوق صوتی تولید می‌کنند که توجه خفاش را منحرف سازند. تقریباً همه حیوانات یا در معرض خورده شدن توسط حیوانات دیگرند، یا در معرض این خطر که نتوانند طعمه‌ای را بخورند و جزئیات و ریزه‌کاری‌های آن‌ها وقتی قابل درک است که فراموش نکنیم، همه محصول نهایی یک مسابقه‌ی تسلیحاتی تلخ و طولانی‌اند. *اچ. بی. کوت*[۱] نویسنده‌ی کتاب کلاسیک *رنگ‌پذیری جانوران*[۲] در سال ۱۹۴۰ این موضوع را به روشنی بیان کرده است. این کتاب احتمالاً نخستین مورد انتشار مطلبی درباره‌ی قیاس مسابقه‌ی تسلیحاتی در زیست‌شناسی است:

> قبل از این‌که ادعا کنیم ظاهر فریبنده‌ی ملخ یا پروانه ظرافت و ریزه‌کاری افراطی دارد، باید ببینیم نیروهای درک و تشخیص دشمن‌های طبیعی آن حشره چگونه

۱ H. B. Con

۲ Animal Coloration

است، اگر این کار را نکنیم مثل این است که ادعا کنیم زره بیش از اندازه سنگین یک مبارز میدان نبرد یا بُرد تفنگ‌هایش بیش از اندازه است، بدون این‌که به چگونگی کارآمدی ابزار جنگی دشمن او توجه کرده باشیم. واقعیت این است که در مبارزه ابتدایی جنگل، و همچنین در ظرافت ابزارهای جنگی دنیای متمدن، یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی» دائمی در جریان است. که نتایج آن سرعت، هشیاری، ساختن وسایل جنگی، خارداری، کندن زمین، نورتابی در شب، تراوش مواد سمی، داشتن طعم تهوع‌آور و استتار و انواع دیگر تغییر رنگ (جهت محفوظ ماندن) برای دفاع و در چیزهایی مانند، سرعت، شبیخون زدن، کمین کردن، گول زدن، تیزبینی، چنگ، دندان، نیش، دندان زهرآلود و انواع گول زنگ (Lures) برای حمله کردن دیده می‌شود. درست همان‌طور که سرعت جانوری که تعقیب شده در رابطه با افزایش سرعت جانور تعقیب کننده یا قدرت سلاح دفاعی در رابطه با سلاح تهاجمی بیش‌تر می‌شود، به همین ترتیب در پاسخ به نیروی درک و دریافت فزاینده هم در تدبیرهایی برای پنهان شدن، تکامل صورت می‌گیرد.

بررسی مسابقه‌های تسلیحاتی در تکنولوژی بشر آسان‌تر از بررسی معادل‌های آن‌ها در زیست‌شناسی است، زیرا بسیار سریع‌تر انجام می‌گیرند. ما عملاً جریان آن‌ها را سال به سال ملاحظه می‌کنیم. ولی، در مورد یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی زیست‌شناختی» معمولاً فقط محصول نهایی را می‌توانیم ببینیم. جانوران یا گیاهان بسیار به ندرت به صورت فسیل در می‌آیند و در این صورت است که گاهی می‌توانیم اندکی مستقیم‌تر مراحل تدریجی یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی» را مشاهده کنیم. یکی از جالب‌ترین موارد «مسابقه‌ی تسلیحاتی» الکترونیکی با اندازه مغز فسیل شده‌ی حیوانات نشان داده می‌شود.

خود مغز، فسیل نمی‌شود ولی جمجمه فسیل می‌شود و اگر حفره‌ای که مغز در آن، جا داشته با دقت بررسی و تفسیر شود، می‌تواند شاخص خوبی برای اندازه‌ی مغز باشد. می‌گویم «اگر با دقت بررسی و تفسیر شود»، چون این شرط بسیار مهم

است. یکی از مشکلات این کار از این قرار است. جانوران بزرگ جثه، معمولاً مغزهای بزرگ دارند، تا حدی به این دلیل که بزرگ جثه‌اند، اگرچه لزوماً به این معنی نیست که باهوش‌ترند. مغز فیل از مغز انسان بزرگ‌تر است، و ما تا حدی منصفانه فکر می‌کنیم از آن‌ها باهوش‌تریم و مغزمان حقیقتاً بزرگ‌تر است، با در نظر گرفتن این واقعیت که ما حیواناتی کوچک‌تر از آن‌ها هستیم. چنان‌که از شکل باد کرده‌ی جمجمه ما پیداست، مغز ما نسبت بیش‌تری از بدن ما را شامل می‌شود تا مغز فیل نسبت به بدنش. این فقط از روی نخوت نیست. احتمالاً بخش قابل ملاحظه‌ای از هر مغز برای اعمال مراقبت‌های معمول از بدن لازم است و بدن بزرگ بدیهی است که برای این کار مغز بزرگ‌تری لازم دارد. ما باید راهی پیدا کنیم که در محاسبات‌مان آن بخش از مغز را که فقط به اندازه‌ی بدن مربوط می‌شود کنار بگذاریم، به‌طوری‌که آن‌چه را بعد از آن از مغز باقی می‌ماند، به عنوان «مغزداری» حقیقی جانوران در نظر بگیریم. به عبارت دیگر می‌شود گفت باید تعریف دقیقی از منظورمان از «مغز حقیقی» پیدا کنیم. افراد مختلف آزادند که در محاسبات از راه‌های مختلف استفاده کنند. اما شاید معتبرترین شاخص مغزداری[۱] (EQ) یا بهره‌ی هوشی است که آن را *هری جریسون* یکی از شخصیت‌های آمریکایی پیشرو در تاریخچه مغز، به کار برده است.

EQ را در عمل از راه‌های پیچیده‌ای محاسبه می‌کنند، لگاریتم وزن مغز و وزن بدن را می‌گیرند و آن را در مقابل رقم میانگین کل یک گروه مثل پستانداران معیارسازی می‌کنند. درست همان‌طور که روان‌شناسان برای استفاده (یا سوءاستفاده) از «ضریب هوشی» یا IQ آن را مثلاً در مقابل کل یک جمعیت معیارسازی می‌کنند، EQ هم در مقابل، مثلاً کل پستانداران، معیارسازی می‌شود. همان‌طور که طبق تعریف، میانگین بهره‌ی هوشی کل یک جمعیت ۱۰۰ است، بهره‌ی هوشی برابر با ۱ طبق تعریف، به معنی میانگین EQ همه‌ی پستاندارانی است که اندازه‌ی خاصی

---

۱ Encephalization quotient

دارند. جزئیات روش محاسبه‌ی ریاضی مهم نیست. به عبارت دیگر، EQ یک گونه‌ی خاص، مثلاً کرگدن یا گربه، نشان می‌دهد مغز آن جانور، با توجه به جثه‌ای که دارد چقدر از اندازه‌ی مورد انتظار بزرگ‌تر یا کوچک‌تر است. مسلماً چگونگی محاسبه آن حد انتظار، در معرض بحث و آرای متفاوت است. این واقعیت که EQ در انسان ۷ و در اسب آبی ۰/۳ است، دقیقاً به این معنی نیست که انسان‌ها ۲۳ برابر بیش‌تر از اسب‌های آبی باهوشند! اما EQ اندازه‌گیری شده احتمالاً به ما چیزی درباره‌ی این‌که در سر آن حیوان چه اندازه[1] «نیروی محاسبه» وجود دارد می‌گوید، نیروی محاسبه‌ای که بالاتر و بیش‌تر از آن حداقل لازم برای جمع و جور کردن عادی یک بدن بزرگ یا کوچک است.

EQ محاسبه شده در میان پستانداران امروزی بسیار متفاوت است. برای موشِ کور ۰/۸ یعنی اندکی پایین‌تر از میانگین EQ همه پستانداران، است. در سنجاب‌ها اندکی بالاتر از میانگین و حدود ۱/۵ است. شاید [برای سنجاب] زندگی کردن در جهان سه بُعدیِ درخت به نیروی محاسبه بیشتری نیاز دارد زیرا جهش‌ها باید دقیق‌تر بررسی شوند و حتی در مورد مسیرهای مناسب حرکت در میان انبوه شاخه‌های درهم، که ممکن است به هم وصل باشند یا نباشند، تصمیم گرفته شود. EQی میمون‌ها کاملاً از میانگین بالاتر و در بوزینه‌های دراز دست (مخصوصاً خود ما) از آن بسیار بالاتر است. مشخص شده است که بعضی از میمون‌ها EQ بالاتر از بقیه دارند و جالب این‌جاست که نوعی ارتباط بین اندازه EQ و روش یافتن غذا وجود دارد. میمون‌هایی که حشره‌خوار یا میوه‌خوارند، [در مقایسه با میمون‌های برگ‌خوار] نسبت به بدن‌شان، مغزهای بزرگ‌تری دارند. این استدلال معنی‌دار به نظر می‌رسد چون پیدا کردن برگ به نیروی محاسبه‌ی کمتری احتیاج دارد زیرا همه‌جا فراوان

[1] معادل‌های: هزینه‌ی فرصت از دست رفته؛ عدم‌النفع؛ هزینه‌ی امکانات از دست رفته؛ مخارج عوامل تولید؛ هزینه‌ی واقعی و هزینه‌ی جانشینی؛ از کتاب فرهنگ فلسفه و علوم اجتماعی انتشارات پژوهشگاه علوم انسانی آورده شده است.

است ولی پیدا کردن میوه که احتمالاً باید آن را جُست یا گرفتن حشره که نیاز به مهارت دارد به آن سادگی نیست. متأسفانه مثل این‌که واقعیت از این بغرنج‌تر است و متغیرهای دیگری مانند سرعت سوخت و ساز می‌توانند نقش مهم‌تری داشته باشند. EQ کل پستانداران گوشت‌خوار معمولاً کمی بالاتر از گیاه‌خوارانی است که شکار آن‌ها می‌شوند. خواننده احتمالاً در مورد این‌که چرا چنین است، بی‌نظر نیست، ولی اثبات چنین نظرهایی آسان نیست، به هر حال، علت آن هر چه باشد، واقعیتی است که وجود دارد.

تا این‌جا صحبت از حیوانات امروزی بود. *جریسون* EQی احتمالی جانوارن منقرض شده را که اکنون به صورت فسیل وجود دارند، بازسازی کرده است. او با ساختن قالب‌هایی از نوع خمیر درون کاسه‌ی سر می‌بایست اندازه مغز را حدس بزند. این کار تا حدی با حدس و گمان آمیخته است ولی محدوده‌ی اشتباه آن آن‌قدر نیست که کل محاسبه را منتفی کند. زیرا می‌توان با استفاده از جمجمه حیوانات امروزی، دقت روش‌های قالب‌گیری خمیر را بیش‌تر کرد. ابتدا فرض می‌کنیم که جمجمه‌ی خشک شده، تنها چیزی است که از یک جانور امروزی داریم. بعد فقط از روی خود جمجمه قالبی از خمیر می‌سازیم و آن را با اندازه‌ی واقعی مغز مقایسه می‌کنیم تا ببینیم حدس ما تا چه اندازه درست بوده است. این مقابله با جمجمه حیوانات امروزی، اعتبار حدس و گمان‌های «جریسون» را در مورد مغزهایی که مدت‌ها پیش از بین رفته‌اند، بیش‌تر می‌کند. او به این نتیجه رسید که اولاً با گذشت میلیون‌ها سال مغز به تدریج بزرگ‌تر می‌شود. گیاه‌خواران در هر دوره خاص مغزی کوچک‌تر از گوشت‌خواران هم دوره خود که آن‌ها را شکار می‌کنند دارند. اما گیاه‌خواران جدیدتر مغزشان از گیاه‌خواران قدیم‌تر بزرگ‌تر است. ظاهراً در فسیل‌ها، ما شاهد یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی»، یا حتی یک رشته رقابت‌های تسلیحاتی بین گیاه‌خواران و گوشت‌خواران هستیم، که مقایسه آن با رقابت‌های تسلیحاتی انسان‌ها جالب است. زیرا مغز، کامپیوتر سرخودی است که هم گوشت‌خواران از آن استفاده

می‌کنند هم گیاه‌خواران، و الکترونیک احتمالاً سریع‌ترین عامل پیشروی در تکنولوژی جنگ‌افزارهای امروزی بشر است.

عاقبت مسابقات تسلیحاتی به کجا می‌رسد؟ گاهی با منقرض شدن یکی از طرفین به پایان می‌رسد، که در این صورت تکامل طرف دیگر در آن جهت خاص متوقف می‌شود و درواقع به دلایل اقتصادی که به‌زودی مورد بحث واقع خواهند شد، حتی ممکن است پس‌روی داشته باشد. ممکن است فشارهای اقتصادی در موارد دیگر یک توقف پایدار را به یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی» تحمیل کنند. توقف پایدار است اگرچه، یک طرف مسابقه همواره پیش باشد. مثلاً سرعت دویدن را در نظر بگیرید. باید برای توانایی دویدن غزال و یوزپلنگ سقفی در نظر گرفت، سقفی که قوانین طبیعت آن را تحمیل می‌کند. اما نه غزال و نه یوزپلنگ به آن حد رسیده‌اند. هر دو یک میزان پایین‌تر را کمی بالا برده‌اند، آن‌قدر که از نظر اقتصادی به‌صرفه باشد. برای سرعت بالا باید بهایی پرداخته شود. استخوان‌های پا باید بلند باشند، ماهیچه‌ها قوی و سینه فراخ. هر جانوری که واقعاً بخواهد تند بدود می‌تواند همه این چیزها را داشته باشد اما باید هزینه‌ی آن‌ها را نیز بپردازد. نرخ آن‌ها به‌طور سرسام‌آوری فزاینده است. این نرخ با چیزی که اقتصاددانان آن را بهای فرصت[۱] می‌نامند، سنجیده می‌شود. بهای فرصتِ یک چیز عبارت است از مجموعه چیزهایی که فرد باید از آن‌ها چشم‌پوشی کند تا به آن چیز خاص دست یابد. بهای فرستادن یک بچه به مدرسه‌ی خصوصی پُرهزینه همه آن چیزهایی است که آدم در پیامد این کار نمی‌تواند به آن‌ها دست یابد. نمی‌شود ماشین نو خرید، تعطیلات را در کنار دریا گذراند (البته اگر آن‌قدر پول‌دار باشید که این خرج‌ها برای‌تان مسئله‌ای نباشد، بهای فرصت فرستادن بچه به مدرسه خصوصی ممکن است تقریباً صفر باشد). بهایی که یوزپلنگ برای داشتن ماهیچه‌های قوی‌تر پا می‌پردازد، همه آن چیزهای دیگری است که می‌توانست با آن مواد و انرژی که صرف پا کرده انجام دهد ولی انجام نداده

---

۱ Opportunity cost

است، مثلاً می‌توانست آن را صرف شیر بیش‌تر برای بچه‌هایش کند.

البته منظور این نیست که یوزپلنگ‌ها در ذهن‌شان این دخل و خرج‌ها را محاسبه می‌کنند. انتخاب طبیعی این کار را خودبه‌خود انجام می دهد. یوزپلنگ دیگری که ماهیچه‌های پایش آن‌قدر ورزیده نباشد ممکن است نتواند به آن خوبی بدود ولی از انرژی موجود برای تولید مقدار بیش‌تری شیر برای بچه‌هایش استفاده می‌کند و احتمالاً می‌تواند یک بچه‌ی دیگر بیاورد. چیتاهایی که ژن‌هایشان آن‌ها را مناسب ایجاد بیش‌ترین سازگاری (تعادل) بین سرعت دویدن، تولید شیر و همه هزینه‌های دیگری که بر دوششان است می‌کنند، فرزندان بیش‌تری به بلوغ می‌رسانند. معلوم نیست حد مطلوب تعادل، بین تولید شیر و سرعت دویدن، کدام است. مسلماً در انواع متفاوت حیوانات تا این حد یکسان نیست و امکان دارد در افراد یک نوع حیوان نیز تفاوت داشته باشد. تنها چیزی که به یقین می‌دانیم این است که چنین موازنه‌هایی اجتناب‌ناپذیرند. وقتی چیتا و غزال، هر کدام در دنیای اقتصاد درون خود، به حداکثر سرعتی که برایشان قابل تحمل است می‌رسند، «مسابقه‌ی تسلیحاتی» آن‌ها به پایان می‌رسد.

ممکن است از نظر اقتصادی هر دو در یک زمان به آن نقطه‌ی پایان نرسند، امکان دارد جانورانی که طعمه هستند [نسبت به بودجه‌ای که جانورانِ غالب برای روش‌های تهاجمی صرف کرده‌اند] با صرف بودجه‌ی بیش‌تری برای روش‌های دفاعی خود به نقطه پایان برسند. در درس اخلاقی *ازوپی*[1] دلیل برای آن ارائه شده است: خرگوش برای نجات جان خود تندتر از روباه می‌دود چون روباه فقط برای ناهار آن روز می‌دود. مسأله از نظر اقتصادی، به این دلیل معنی‌دار است که روباه‌هایی که امکاناتشان را در برنامه‌های مختلف به کار می‌برند، در مجموع عمل‌کرد موفق‌تری از آن‌هایی دارند که همه‌ی امکانات‌شان را فقط صرف امر شکار می‌کنند. از طرفی از نظر برقراری تعادل اقتصادی در جمعیت خرگوش‌ها، نفع با آن‌هایی است که

[1] Aesopain، نویسنده یونانی قرن ششم پیش از میلاد است.

بیش‌ترین هزینه را صرف فرار خود کرده‌اند. ماحصل این هزینه‌های به تعادل رسیده در درون گونه‌ها این است که در «مسابقه‌ی تسلیحاتی» بین گونه‌ها، گرایش به رسیدن به وضعیت پایدار دوطرفه است با پیش‌تر بودن یک طرف.

[احتمال کمی] دارد که شاهد پیشروی پویا در مسابقات تسلیحاتی باشیم، زیرا این‌طور نیست که این مسابقات در هر لحظه‌ای از زمان‌های زمین‌شناختی، مثلاً در زمان ما، پیوسته در جریان باشند. اما جانورانی را که اکنون می‌بینیم می‌توانیم محصول نهایی یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی» که در گذشته جریان داشته قلمداد کنیم.

پیام این فصل را به این صورت جمع‌بندی می‌کنیم که انتخاب ژن‌ها نه بر اساس کیفیات ذاتی آن‌ها، بلکه به خاطر تعاملی است که با محیط خود دارند. بخشی از آن محیط که اهمیت خاصی دارد، ژن‌های دیگرند. دلیل اهمیت این بخش از محیط این است که ژن‌های دیگر هم با گذشت نسل‌ها، تغییر می‌کنند. این امر دو نوع نتیجه‌ی اصلی در پی دارد.

اول این‌که آن ژن‌هایی برتری می‌یابند که در محیطی که به همکاری بها داده می‌شود، وقتی به ژن‌های دیگر برخورد می‌کنند با آن‌ها همکاری داشته باشند. این موضوع مخصوصاً، ولی نه مطلقاً، در مورد ژن‌هایی صادق است که درون یک گونه‌ی جاندار باشند، زیرا در یک گونه ژن‌ها در موارد بسیاری در بعضی سلول‌ها با هم شریکند. و این منجر به پیدا شدن گروه‌های بزرگی از ژن‌های مشارکت‌کننده می‌شود و در نهایت به تکامل خود بدن‌ها به عنوان محصول نهایی یک کارگروهی می‌انجامد. هر بدن یک وسیله نقلیه یا ماشین بقای بزرگ است که با کارگروهی ژن‌ها ساخته شده و کارش حفظ رونوشت‌هایی از تک‌تک افراد آن گروه است. آن‌ها با یکدیگر همکاری می‌کنند به این دلیل که همه با هم به حاصل کار یکسانی – بقا و تکثیر آن بدن مشترک – می‌رسند و به این دلیل که بخش مهمی از محیطی را تشکیل می‌دهند که در آن انتخاب طبیعی روی تک‌تک آن‌ها اثر می‌کند.

دوم این‌که شرایط همیشه این‌طور نیست که همکاری سودمند باشد. ژن‌ها، در حرکتی که در طول زمان‌های بسیار طولانی زمین‌شناختی دارند، گاهی در شرایطی به هم برمی‌خورند که دشمنی سودمند است. این به ویژه، البته نه همیشه، در مورد ژن‌های گونه‌های متفاوت جانداران صادق است. در مورد این‌گونه ژن‌ها مسئله این است که با هم مخلوط نمی‌شوند، زیرا افراد گونه‌های متفاوت نمی‌توانند با یکدیگر بیامیزند. وقتی ژن‌های برگزیده‌ی یک گونه جاندار، محیطی را فراهم می‌آورند که بر اساس آن ژن‌های گونه‌ی دیگری گزینش می‌شوند، نتیجه اغلب یک «مسابقه‌ی تسلیحاتی تکاملی» است. هر پیشرفت ژن جدیدی که در یک طرف مسابقه، مثلاً جانوران غالب، گزینش می‌شود، محیط را برای انتخاب ژن‌های طرف دیگر مسابقه یعنی جانوران مغلوب، تغییر می‌دهد. این نوع «مسابقات تسلیحاتی» نقش عمده‌ای در کیفیت پیش‌رونده تکامل، تکامل رو به افزایش سرعت دویدن، مهارت پرواز، تیزی دید چشم، دقت شنوایی و غیره داشته‌اند. این «مسابقات تسلیحاتی» تا ابد ادامه نمی‌یابند، بلکه ثبات پیدا می‌کنند، مثلاً وقتی‌که پیشرویِ بیش‌تر برای جاندار مربوطه از نظر هزینه مقرون به صرفه نباشد.

این فصل، فصل مشکلی بود، ولی باید در کتاب آورده می‌شد. در غیر این صورت، این احساس در ما باقی می‌ماند که انتخاب طبیعی فقط فرایندی نابود کننده، یا در بهترین حالت، پاکسازی‌کننده است. ملاحظه کردیم که انتخاب طبیعی به دو طریق می‌تواند نیروی سازندگی داشته باشد. یک روش به رابطه‌ی همکاری بین ژن‌های درون یک گونه مربوط می‌شود. فرض اصلی ما باید این باشد که ژن‌ها، ماهیت‌های «خودخواهی» هستند که سعی در پراکندن افراد خود در «خزانه‌ی ژن» دارند. اما چون محیط ژن را تا حد زیادی ژن‌های دیگری که از همان خزانه انتخاب شده‌اند تشکیل می‌دهند اگر ژنی در همکاری با ژن‌های دیگرِ آن خزانه مهارت داشته باشد برتری خواهد یافت. به این دلیل است که مجموعه‌های بزرگی از سلول‌ها که منسجم و یکپارچه در جهت رسیدن به اهداف واحد کوشیده‌اند تکامل یافته‌اند. به

این دلیل است که به جای آن تکثیرشونده‌های منفرد پُرجوش و خروش در سوپ آغازین، بدن‌ها وجود دارند.

بدن‌ها به یکپارچگی و انسجام هدفمند دست می‌یابند زیرا در محیطی که ژن‌های دیگر درون همان گونه فراهم آمده‌اند گزینش می‌شوند. اما به دلیل این‌که ژن‌ها در محیطی که ژن‌های گونه‌های دیگر جانداران به وجود می‌آورند نیز گزینش می‌شوند، «مسابقات تسلیحاتی» پیدا می‌شوند و نیروی بزرگ دیگری ایجاد می‌کنند که تکامل را در جهانی به پیش می‌راند که ماحصل آن را به عنوان طرحی بالنده و پیچیده قبول داریم. «مسابقات تسلیحاتی» به صورت ذاتی و بی‌کنترل این وضع را به وجود می‌آورد. از یک نظر طوری به پیش می‌رود که انگار بیهوده و بی‌معنی است و از سویی برای ما به عنوان بیننده، بالنده و بی‌نهایت مسحورکننده است. فصل بعد به مورد خاصی از تکامل انفجاری و افسارگریخته می‌پردازیم که داروین نام «انتخاب جنسی» بر آن نهاده است.

فصل ۸

انفجارها و مارپیچ‌ها

ذهن انسان به شدت اهل قیاس است. ما با دیدن کوچک‌ترین شباهت در فرایندهای مختلف بی‌اختیار به سوی یافتن معنایی در آن کشیده می‌شویم. بیش‌ترِ یک روز من در پاناما صرف تماشای دو گروه بزرگ از مورچه‌های برگ‌بُر (Leaf-cutter ants) شد که با هم می‌جنگیدند و ذهن من بی‌اراده صحنه‌های پُرکشاکش نبرد آن‌ها را با تصاویری که از «پاسنداله»[۱] دیده بودم مقایسه می‌کرد. تقریباً صدای تفنگ‌ها را می‌شنیدم و بوی دود را حس می‌کردم. کمی بعد از انتشار کتاب *ژن خودخواه*، جداگانه به دو روحانی برخوردم که هر دو بین مفاهیم این کتاب و «گناهکاری ذاتی»[۲] به قیاس یکسانی رسیده بودند. داروین مفهوم تکامل را آشکارا در مورد تغییر شکل بدن جانداران، طی نسل‌های بی‌شمار، به کار برده بود؛ وارثان او در هر چیزی مفهوم تکامل را می‌دیدند: در شکل دگرگون شونده‌ی جهان، در مراحل رشد تمدن بشر، در اندازه‌ی بلندیِ دامن‌های مُد روز. در بعضی موارد چنین قیاس‌هایی بسیار مفیدند ولی افراط در آن ممکن است ما را از موضوع پرت کند و شباهت‌های کم اهمیت و جزئی که ما را هیجان‌زده می‌کند ممکن است بی‌ربط یا

---

[۱] Passchendaele یکی از سه نبرد بزرگ جنگ جهانی اول.

[۲] Original sin، در الهیات مسیحی چنین چیزی مطرح است.

حتی زیان‌بار باشد. من به دریافت پیام‌های عجیب و غریب عادت کرده‌ام و متوجه شده‌ام یکی از نشانه‌های مهم آدم‌های سطحی این است که بیش از اندازه بر اساس احساسات خود قیاس می‌کنند.

از طرفی، برخی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در علوم، حاصل توجه یک فرد باهوش بوده است به شباهت بین یک موضوع شناخته شده با چیز دیگری که در آن زمان ناشناخته و اسرارآمیز بوده است. باید بین قیاس نسنجیده و بی‌هدف و ندیدن و چشم بستن بر قیاس‌های سودمند به مرحله‌ی متعادلی رسید. تفاوت دانشمند موفق و آدم پرت و پَلا گو در چگونگی منبع الهام آن‌هاست. اما من فکر می‌کنم این تفاوت در عمل بیش‌تر با رد قیاس‌های نابخردانه و پذیرفتن قیاس‌های مفید خود را نشان می‌دهد تا به صورت توانایی تشخیص شباهت‌ها. با توجه به این‌که در این‌جا هم قیاسی داریم که ممکن است دور از عقل یا قابل استفاده باشد (در هر صورت قیاس جدیدی نیست)، قیاسی است بین پیشرفت علمی و انتخاب تکاملی داروینی. اجازه بدهید وارد موضوع مربوط به این فصل شوم. موضوع از این قرار است که قصد دارم به دو قیاسِ در هم تنیده بپردازم که به نظرم می‌توانند الهام‌بخش باشند. البته اگر مواظب نباشیم ممکن است از مرحله پرت‌مان کنند. اولی قیاسی است بین فرایندهای متفاوتی که همه به خاطر شباهت‌هایی که دارند زیر عنوان انفجارها مطرح‌اند. دومی قیاسی است بین تکامل داروینی واقعی و آن چیزی که تکامل فرهنگی نام گرفته است. از نظر من، این قیاس‌ها می‌توانند پُرثمر باشند – البته اگر غیر از این بود فصلی به آن‌ها اختصاص نمی‌یافت. در هر صورت خواننده باید هشیار باشد.

آن ویژگی انفجارها که به موضوع ما مربوط می‌شود چیزی است که مهندسان آن را به عنوان فیدبک مثبت (Positive feedback) می‌شناسند. وقتی فیدبک مثبت را خوب متوجه می‌شویم که آن را با ضدش، یعنی فیدبک منفی مقایسه کنیم. اساسِ بیش‌ترِ کنترل‌ها و تنظیم‌های خودکار «فیدبک منفی» است. یکی از شُسته‌رُفته‌ترین و

شناخته‌شده‌ترین نمونه‌های آن رگلاتور بخار وات است. یک موتور مفید باید نیروی چرخش‌اش ثابت باشد و در حین انجام کارِ مورد نظر، مثلاً، آسیاب کردن، بافندگی، پمپ کردن یا هرچه هست تغییر نکند. قبل از وات این مسئله وجود داشت که سرعت چرخش، به شدتِ فشارِ بخار وابسته بود. با ریختن سوخت، زیرِ دیگِ بخار سرعت موتور زیاد می‌شد و این وضع برای آسیاب یا دستگاه پارچه‌بافی که در آن گردش یکنواخت دستگاه لازم است، وضعیت مناسبی نبود. رگلاتورِ وات شیر فلکه‌ی خودکاری بود که جریان بخار به پیستون را تنظیم می‌کرد.

راه‌کار جالب آن این بود که شیر فلکه طوری به حرکت چرخشی، که موتور تولید می‌کرد، وصل بود، که هرچه حرکت موتور سریع‌تر می‌شد، آن شیر جریان بخار را کم‌تر می‌کرد و برعکس، هر وقت موتور کُند می‌چرخید، شیر فلکه بیش‌تر باز می‌شد. به این ترتیب، موتورِ کُند فوراً سرعت می‌گرفت و موتوری که دورش تند بود، آهسته‌تر می‌شد. وسیله‌ی دقیقی که رگلاتور با آن سرعت را می‌سنجید، وسیله‌ی ساده و کارآمدی بود و اصلی که در آن به کار رفته بود هنوز مورد استفاده واقع می‌شود. یک جفت توپ روی دو بازوی لولا شده، با نیروی موتور دور می‌زنند. وقتی تند می‌چرخند، نیروی گریز از مرکز باعث می‌شود که رو به بالا روی لولاها بمانند. وقتی‌که گردش آن‌ها کُند باشد، رو به پایین قرار می‌گیرند. بازوهای لولا شده مستقیماً به دریچه بخار وصل‌اند. با تنظیم مناسب پیچِ آن، رگلاتور می‌تواند با وجود کم و زیاد شدن شدت آتشخانه سرعت گردش موتور دستگاه را تقریباً ثابت نگه دارد.

اصل زیربنایی رگلاتور وات فیدبک منفی است. برون‌دادِ موتور (که در این‌جا حرکت چرخشی است) به موتور برمی‌گردد (به وسیله شیر فلکه‌ی بخار). این فیدبک منفی است زیرا اگر برون‌داد زیاد باشد (چرخیدن سریع توپ‌ها) اثر منفی روی درون‌داد (مقدار بخار) می‌گذارد. برعکس، برون‌داد پایین (چرخش کُند توپ‌ها)، درون‌داد (بخار) را زیاد می‌کند. اما منظور من از صحبت درباره‌ی فیدبک منفی، بهتر شرح دادن فیدبک مثبت بود. فرض کنید در یک رگلاتور وات تغییری به وجود

آوریم و رابطه‌ی بین آن ابزار توپ گریز از مرکز و شیر بخار را برعکس کنیم. طوری‌که وقتی توپ تند بچرخد، شیر به جای بسته شدن باز شود و برعکس وقتی توپ آهسته بچرخد، شیر به جای این‌که جریان بخار را زیاد کند، آن را کم کند. موتوری که در آن رگلاتور وات کار گذاشته باشند، به‌طور معمول، وقتی کُند شود، خودبه‌خود دوباره به سرعت مناسب می‌رسد، اما با این دستکاری که ما در موتور کرده‌ایم، کار درست برعکس است. اگر موتور کُند شود، بیش‌تر رو به کُندی می‌رود و خودبه‌خود به سمت توقف میل می‌کند. از طرفی، اگر این موتور سرعت بگیرد، به جای این‌که مثل موتور وات تنظیم گردد، سرعتش بیش‌تر می‌شود. با رگلاتور برعکسی که دارد، با کمی سرعت، شتاب پیدا می‌کند. این شتاب با فیدبک مثبت خود، سرعت موتور را بالاتر می‌برد. این کار تا آن‌جا ادامه پیدا می‌کند که یا موتور زیر فشار خرد می‌شود و چرخ لنگر به در و دیوار کارخانه پرتاب می‌شود، یا فشار بخار از حدی بالاتر نمی‌رود و دستگاه با حداکثر سرعت کار می‌کند.

در حالی‌که رگلاتور اصلی وات از فیدبک منفی استفاده می‌کند، آن موتور فرضی که ما آن را دستکاری کرده‌ایم فرایندی مخالف، یعنی نمونه‌ای از فیدبک مثبت، را نشان می‌دهد. فرایند فیدبک مثبت کیفیتی ناپایدار و کنترل نشدنی دارد. یک آشفتگیِ کوچک، شدت پیدا می‌کند و به چرخش فزاینده‌ی مارپیچی و در نهایت یا به فاجعه منجر می‌شود یا در نتیجه تأثیر فرایندهای دیگر سرانجام در سطح بالاتری خفه می‌شود. مهندسان به این نتیجه رسیده‌اند که بهتر است انواع مختلف فرایندها را در دو دسته بزرگ با عنوان فرایندهای فیدبک مثبت و فرایندهای فیدبک منفی یکپارچه کنند. مقایسه‌ی این فرایندها نتیجه‌بخش است نه فقط به خاطر شباهت‌های تقریبی ویژگی‌هاشان، بلکه به این دلیل که همه زیربنای ریاضی یکسانی دارند. زیست‌شناسانی که پدیده‌هایی چون کنترل دما در بدن و مکانیسم سیری را که مانع پُرخوری می‌شود بررسی می‌کنند، متوجه شده‌اند که قرض گرفتن ریاضیات فیدبک منفی از مهندسان به آن‌ها کمک می‌کند. فیدبک مثبت مورد استفاده‌ی کمتری نسبت

به فیدبک منفی دارد، چه برای مهندسان و چه در بدن جانداران، با وجود این، موضوع این فصل «فیدبک مثبت» است.

البته دلیل این‌که مهندسان بدن‌های زنده از فیدبک منفی بیش‌تر استفاده می‌کنند این است که تنظیم کنترل شده‌ی دستگاه‌ها در نزدیکی حد مطلوب بیش‌تر مورد استفاده دارد. فرایندهای ناپایدار و کنترل نشدنی، گذشته از این‌که مفید نیستند، ممکن است خطرناک باشند. در شیمی، نمونه بارز فرایند فیدبک مثبت انفجار است و ما معمولاً از واژه‌ی «انفجاری» برای هر فرایند مهارنشدنی استفاده می‌کنیم. مثلاً ممکن است درباره‌ی کسی بگوییم که گاهی منفجر می‌شود. یکی از معلم‌های مدرسه‌ی ما که به‌طور عادی آقای محترم و مؤدبی بود، گاهی در کلاس بدجوری منفجر می‌شد و خودش هم حال خودش را می‌دانست. وقتی در کلاس خیلی عصبانی‌اش می‌کردند، ابتدا چیزی نمی‌گفت، اما از صورتش پیدا بود که درونش ناآرام است. بعد با لحنی آرام و منطقی می‌گفت: «عزیزان، تحملم تمام شده، دارم عصبانی می‌شوم. بروید زیر میزهایتان. با شما هستم. داره می‌آد.» در این فاصله صدایش اوج می‌گرفت و در آن نقطه اوج هر چیز که دم دستش بود، کتاب، تخته پاک‌کن پشت تخته‌ای، وزنه‌ی کاغذ نگهدار، مرکب‌دان، همه را پشت سر هم و با حداکثر قدرت و شدت به طرف پسری که ناراحتش کرده بود پرتاب می‌کرد. بعد کم‌کم خُلقش آرام می‌گرفت و روز بعد از همان بچه با مهربانی تمام عذرخواهی می‌نمود. خودش متوجه بود که از کوره در رفته است و آگاه بود که چگونه قربانی یک چرخه‌ی فیدبک مثبت شده است.

اما فیدبک‌های مثبت همیشه افزایش‌های بی‌کنترل به بار نمی‌آورند، گاهی به کاهش‌های کنترل نشدنی منجر می‌شوند. من این اواخر در بحثی در یک گردهمایی دانشگاه آکسفورد شرکت داشتم که موضوع آن تصمیم گرفتن درباره‌ی اعطای مدرک افتخاری به کسی بود. در این مورد، برخلاف معمول، آراء ضد و نقیض زیاد بود. بعد از گرفتن رأی، ضمن آن ده دقیقه‌ای که شمردن برگه‌ها طول کشید، کسانی که منتظر

شنیدن نتیجه بودند، با هم بلند بلند صحبت می‌کردند، یک لحظه به‌طور عجیبی سر و صدا فروکش کرد و کاملاً سکوت حاکم شد. دلیل آن، نوعی خاص از فیدبک مثبت بود که عمل‌کردش را اکنون می‌گویم. در هر همهمه‌ی معمولی گاهی صدا بالا و پایین می‌رود که ما به آن توجه نمی‌کنیم. یکی از این تغییرات که پایین آمدن صداست، اگر از حد معمول کمی پایین‌تر بیاید، بعضی‌ها متوجه آن می‌شوند. چون همه نگران، منتظر اعلام نتیجه بودند، آن‌ها که متوجه آن کاهش اتفاقی سر و صدا شدند نگاه‌شان به طرف بالا رفت و ساکت شدند. این باعث شد سطح صدا کلاً کمی پایین‌تر بیاید و موجب شود عده بیش‌تری متوجه آن بشوند و صحبت‌شان را قطع کنند. فیدبک مثبتی که شروع شده بود به سرعت ادامه یافت تا آن‌جا که همه سالن کاملاً ساکت شد. بعد وقتی‌که متوجه شدیم این حاضر–باشِ واقعی نیست، دوباره صدای خنده و به دنبال آن بالا رفتن صدا، مثل قبل ادامه یافت.

قابل توجه‌ترین و چشمگیرترین فیدبک‌های مثبت، آن‌هایی هستند که موجب افزایش مهارنشدنی در چیزی می‌شوند: یک انفجار هسته‌ای، معلم مدرسه‌ای که از کوره در می‌رود، جار و جنجال در میخانه، بالا گرفتن فحاشی در سازمان ملل (خواننده ممکن است متوجه باشد چرا من در ابتدای فصل گفتم باید هشیار باشد). اهمیت جایگاه فیدبک مثبت در امور بین‌المللی، را به‌طور ضمنی می‌توان از کاربرد واژه‌ی «شدت» در اصطلاحات زبان مخصوص آن حوزه درک کرد: مانند وقتی‌که می‌گوییم خاورمیانه یک «بشکه»ی باروت است و نیز وقتی‌که «کانون‌های انفجار» را شناسایی می‌کنیم. یکی از آشناترین عباراتی که مفهوم فیدبک مثبت را بیان می‌کند در سخنان سنت *ماتیو*[1] است: «به هر آن کس که دارد، داده می‌شود و او به فراوانی خواهد رسید، اما از آن‌که ندارد ستانده می‌شود حتی همانی را که دارد.» این فصل درباره‌ی فیدبک مثبت در تکامل است. بعضی از ویژگی‌های جانداران طوری هستند که به نظر می‌رسد محصول نهایی چیزی انفجار مانند، حاصل یک فیدبک مثبت، و

[1] St Matthew's Gospel

فرایند تکاملی کنترل نشدنی باشند. مسابقات تسلیحاتیِ فصل پیش، نمونه‌های متعادلی از آن هستند، ولی نمونه‌های واقعاً قابل توجه آن را می‌توان در عضوهایی از بدن که جنس مخالف را جلب می‌کنند یافت.

سعی کنید به خودتان بقبولانید، همان‌طور که وقتی من دانشجو بودم به من قبولاندند که چتر طاووس یک عضو معمولی مثل دندان یا کلیه است، و انتخاب طبیعی آن را طوری ساخته که به جز این‌که مشخص کُند آن پرنده جزء کدام «گونه جاندار» هست و جزء کدام نیست، کار دیگری از آن برنمی‌آید. این حرف‌ها برای من قابل قبول نبود و بعید می‌دانم که برای شما باشد. برای من روی چتر طاووس مُهر فیدبک مثبت، روشن‌تر از روز است. این چتر، بی‌شک، حاصل نوعی انفجار کنترل نشدنی و ناپایدار است که در دوران تکامل رخ داده است. نظر *داروین* در فرضیه‌ی انتخاب جنسی‌اش هم چنین بود و همین‌طور بود نظر *آر. ای. فیشر* بزرگ‌ترین وارث او، که به‌طور واضح و مفصل آن را شرح داده بود. او در کتاب *نظریه‌ی ژنتیکی انتخاب طبیعی* بعد از استدلال کوتاهی نتیجه می‌گیرد:

> رشد پر و بالِ جنسِ نر و مورد پسندِ ماده قرار گرفتن این پر و بال، از نظر جنسی، باید پابه‌پای هم پیش بروند و تا وقتی‌که فرایندی پرقدرت و مخالف این انتخاب، آن‌ها را از میان به در نکند، با سرعت فزاینده‌ای پیشروی خواهند کرد. در صورتی که چنین کنترل‌هایی وجود نداشته باشد، به راحتی می‌توان مشاهده کرد که سرعت رشد با سرعتی که قبلاً پیدا شده تناسب دارد و بنابراین با متغیر زمان به صورت نمایی یا به صورت تصاعد هندسی [با قدر نسبت زمان] افزایش خواهد یافت.

این ویژگی‌های *فیشر* است که آن‌چه را او «به راحتی مشاهده می‌کرد» [درکش به‌طور کامل برای دیگران تا نیم قرن بعد ممکن نبود]. او این زحمت را به خود نداد که روی این‌که تکاملِ پر و بالی که از نظر جنسی جلب کننده است، ممکن است با سرعت فزاینده و تصاعدی، به صورت انفجاری رو به پیشروی باشد، [پافشاری کند]. برای

کسان دیگری که در دنیای زیست‌شناسی بودند پنجاه سالی طول کشید تا به او برسند و بالاخره آن نوع بحث ریاضی که او به کار برده بود را به‌طور کامل روی کاغذ یا در ذهن خود بازسازی کرده، موضوع را به خود بفهمانند. من سعی دارم این مفاهیم ریاضی را، که *راسل لند* (Russell Lande)، زیست‌شناس جوان آمریکایی، روی صورت جدید آن بسیار کار کرده است به صورت نثر کاملاً غیرریاضی شرح دهم. گرچه من به نااُمیدی خود *فیشر* نیستم که در پیشگفتار کتابِ ۱۹۳۰ خود گفته بود: «هیچ تلاشی برای ساده‌تر کردن کتاب نتیجه نداد.» با وجود این بنا به گفته‌ی یکی از خوانندگان کتاب اول من: «خواننده حواسش باشد که ذهن باید کفش مناسب دویدن بپوشد.» برای خود من هم جذب این مفاهیمِ مشکل بدون تلاش بسیار میسر نشد. در این‌جا، از همکار فعلی و دانشجوی سابقم *آلن گرافن* که مخالف بود از او قدردانی کنم، سپاسگزارم. وی از آن گروه افرادی است که صندل‌های ذهنش پرواز هم می‌کنند، در مقایسه با دیگر همردیفانش، ولی این توانایی کم‌نظیر را هم دارد که هر وقت بخواهد آن صندل‌ها را از پا درآورد و به بهترین صورت موضوع را برای دیگران بیان کند. بدون درس گرفتن از او، به هیچ وجه نمی‌توانستم بخش میانی این فصل را بنویسم، به همین دلیل نتوانستم تنها به سپاسگزاری از او در پیشگفتار بسنده کنم.

قبل از این‌که به مطالب مشکل برسیم، باید کمی به عقب برگردم و از پیدایش تفکر «انتخاب جنسی» صحبت کنم. این موضوع را هم، مثل بسیاری از چیزهای دیگر در این زمینه، *چارلز داروین* شروع کرده است. با این‌که او بیش‌تر روی بقا و تنازع بقا تکیه می‌کرد متوجه بود که وجود و بقا فقط وسیله‌هایی برای رسیدن به یک هدف‌اند. هدفِ تولید مثل است. یک قرقاول ممکن است عمر خوبی داشته باشد، اما اگر بچه نداشته باشد، صفاتش منتقل نمی‌شود. انتخاب طبیعی آن صفاتی را که باعث موفقیت در تولید مثل جاندار می‌شوند ترجیح می‌دهد و بقا بخشی از مبارزه در راه تولید مثل است. در بخش دیگری از این مبارزه، موفقیت نصیب آن‌هایی است

که بیش‌تر مورد پسند جنس مخالف باشند. *داروین* متوجه بود اگر قرقاول، طاووس یا مرغ بهشتی جذابیتی را که حتی ممکن است به بهای زندگی‌شان تمام شود هزینه کنند، می‌توانند آن ویژگی‌های جذابیت جنسی را قبل از مرگ‌شان از طریق تولید مثل بسیار موفق انتقال دهند. از نظر او چتر طاووس از نظر بقا بیش‌تر مایه دردسر پرنده بود، تا جذابیتی که برایش از نظر جنسی ایجاد می‌کرد. *داروین*، با علاقه‌ای که برای آوردن نمونه از چیزهای دور و بر داشت، آن مرغ را با انسانی مقایسه کرد که حیوانات اهلی را، بر اساس پسند خود از نظر زیبایی، پرورش می‌دهد. می‌توانیم چنین شخصی را با آن کس که «بیومورف‌های کامپیوتری» را با توجه به زیبایی‌شان انتخاب می‌کند مقایسه کنیم.

داروین، پسندِ ماده‌ها را کاملاً به عنوان معیار قبول داشت. وجود چنین تمایل‌هایی اصل اولیه‌ی نظریه‌ی انتخاب جنسی برای او یک پیش‌فرض بود تا چیزی که باید ثابت شود. تا اندازه‌ای به همین دلیل، نظریه انتخاب جنسی او چندان مورد توجه قرار نگرفت، البته تا ۱۹۳۰ که *فیشر* به آن پرتویی تابانید. متأسفانه، بیش‌تر زیست‌شناسان یا متوجه منظور *فیشر* نشدند یا او را ندیده گرفتند. *جولیان هاکسلی* و عده‌ای دیگر در مخالفت با او می‌گفتند که تمایل ماده را نمی‌توان اساس قابل قبولی برای یک بررسی علمی دانست ولی *فیشر* پسند ماده را عامل موجهی برای انتخاب طبیعی، و نه کمتر از دُم پرنده‌ی نر، می‌دانست و به این ترتیب توانست نظریه‌ی انتخاب جنسی را دوباره مطرح کند. سلیقه‌ی ماده نمایانگر جنبه‌ای از سیستم اعصاب اوست. سیستم اعصاب تحت تأثیر ژن‌ها رشد می‌کند و به این ترتیب احتمالاً، طی نسل‌های پیاپی، انتخاب طبیعی روی گزینش ویژگی‌های آن سیستم اعصاب تأثیر داشته است. در جایی که دیگران تکامل پر و بال نر تحت تأثیر پسند ماده، را یک عامل ثابت و ایستا در نظر می‌گرفتند *فیشر* معتقد بود پسند ماده، چیز ثابتی نیست و همپای پر و بال نر تکامل پیدا می‌کند. شاید خودتان متوجه شده باشید که این قضیه چگونه می‌تواند به مفهوم «فیدبک مثبت» ربط داشته باشد.

معمولاً هنگام بحث درباره‌ی موضوعات پیچیده‌ی نظری، بد نیست مثالی از دنیای واقعی در ذهن داشته باشیم. من به عنوان نمونه، دُم مرغ بافنده‌ی دُم‌دراز آفریقایی را در نظر خواهم گرفت. البته هر آرایه‌ای که از نظر جنس مخالف خوشایند باشد، منظور ما را برآورده می‌کند. ولی من دوست دارم سازهای مختلف بزنم و چتر طاووس را که همیشه (به عنوان مثال در بحث‌های مربوط به انتخاب جنسی) به کار می‌رود فعلاً کنار بگذارم. مرغ بافنده‌ی دُم‌دراز نر، پرنده‌ی سیاه و باریک و کشیده‌ای است که در قسمت شانه پرهای نارنجی دارد، تقریباً به اندازه‌ی گنجشک انگلیسی است، فقط پرهای اصلی دُمش در زمان جفت‌گیری حدود ۴۵ سانت دراز می‌شود. این پرنده اغلب در حال پرواز بر فراز چمنزارهای آفریقا، توجه را جلب می‌کند زیرا با چرخ زدن و دور زدنی که دارد مثل هواپیمایی است که برای تبلیغ چیزی پارچه‌ی درازی به دُمش وصل کرده باشند. عجیب این‌که در هوای بارانی می‌تواند فرود بیاید. چنان دُم درازی برای پرواز در هوای خشک هم یک بار اضافی است. برای ما جالب است بدانیم آن دُم دراز چگونه پیدا شده و حدس می‌زنیم باید حاصل کار یک فرایند انفجاری تکامل باشد. به این ترتیب، با یکی از اجداد آن پرنده که دُمش دراز نیست بررسی را شروع می‌کنیم. فرض کنید آن پرنده طول دُمش ۷/۵ سانت یعنی یک ششم پرنده‌ی امروزی بوده است. سعی ما این است که توضیح دهیم این تغییر تکاملی، که باعث شش برابر شدن طول دُم پرنده‌ی نر شده چگونه رخ داده است.

روشن است وقتی تقریباً هر چیزی را در حیوانات اندازه بگیریم، گرچه بیش‌تر در افراد گونه‌ای جاندار اندازه‌ها به میانگین نزدیک است ولی بعضی‌ها کمی بالاتر و بعضی افراد کمی پایین‌تر از حد میانگین قرار دارند. یقیناً در آن پرنده‌های اجدادی هم طول دُم بعضی‌ها بلندتر و بعضی کمتر از ۷/۵ سانت بوده است. مطمئن‌تر است این‌طور فرض کنیم که طول دُم تحت تأثیر ژن‌های زیادی بوده، و هر کدام از آن ژن‌ها تأثیر کوچکی داشته‌اند و مجموع تأثیر آن‌ها و علاوه بر آن تأثیر تغذیه و دیگر

تغییرات محیطی باعث شده است که اندازه واقعی دُم آن‌قدر باشد. به تعداد زیادی ژن که تأثیر خود را به صورت یک جا نشان می‌دهند، پلی‌ژن می‌گویند. بسیاری از اندازه‌های ما، مثل قد یا وزن، تحت تأثیر پلی‌ژن‌های زیادی هستند. الگوی ریاضی انتخاب جنسیِ موردِ نظری که من دنبال می‌کنم، همان الگوی پلی‌ژنی *راسل بند* است.

حالا می‌رویم سراغ ماده‌ها و این‌که چطور آن‌ها جفت خود را انتخاب می‌کنند. ظاهراً این فرض که ماده‌ها جفت خود را انتخاب می‌کنند، نسبت به وقتی‌که عکس این حالت را در نظر بگیریم، به نظرِ خیلی‌ها یک‌طرفه یا یک جنس‌گرا می‌آید. ولی بر اساس اصول نظری، دلایل موجهی ما را وا می‌دارد که بپذیریم واقعیت چنین است (*ژن خودخواه* را ببینید.) و در عمل همین‌طور است. بی‌شک پرنده‌ی دُم‌درازِ امروزی توجه شش هفت پرنده‌ی ماده را به خود جلب می‌کند. و این یعنی تعدادی پرنده‌ی نر در جمعیت باقی می‌مانند که تولید مثل نمی‌کنند. و در نتیجه یعنی ماده‌ها در یافتن جفت مشکل ندارند و در موقعیتی هستند که می‌توانند با مشکل‌پسندی انتخاب کنند. یک نر با جلب توجه ماده به چیزهای زیادی می‌رسد، در حالی‌که ماده با جالب بودن برای نر، چندان چیزی گیرش نمی‌آید، چون در هر صورت خواهان دارد.

به این ترتیب، با پذیرفتن این فرض که ماده‌ها هستند که انتخاب می‌کنند، قدم مهم بعدی را که *فیشر* در کنار زدن منتقدین *داروین* برداشت، برمی‌داریم. به جای این‌که فقط بپذیریم که ماده‌ها تمایلاتی دارند، ما پسند ماده را متغیری در نظر می‌گیریم که درست مانند هر متغیر دیگری، تحت تأثیر ژن‌هاست. پسند ماده یک متغیر کمی است، که می‌توانیم آن را تحت تأثیر «پلی‌ژن‌ها» فرض کنیم، درست همان‌طور که طول دُم نر چنین است. این پلی‌ژن‌ها روی بخش‌هایی از مغز ماده، روی چشم‌هایش و روی هر چیزی که روی پسند او تأثیر داشته باشد، اثر می‌گذارند. بدون تردید، بخش‌های زیادی از بدن پرنده‌ی نر می‌تواند در انتخاب شدن او توسط

ماده نقش داشته باشد، مثلاً رنگ بالشتک شانه‌هایش، شکل نوکش و مانند این‌ها. اما در این‌جا چون چگونگی تکامل دُم دراز مورد نظر ماست، توجه ما به تمایل ماده نسبت به درازی متفاوت دُم پرنده نر است. بنابراین برای اندازه‌گیری میزان پسند پرنده‌ی ماده هم از همان میزان سنجش طول دُم پرنده‌ی نر یعنی سانت، استفاده می‌کنیم. تأثیر پلی‌ژن‌ها چنین است که بعضی ماده‌ها تمایل به دُم درازتر از متوسط و بعضی دیگر تمایل به دُم کوتاه‌تر از حد معمول داشته و تعدادی هم، اندازه‌ی متوسط دُم را ترجیح می‌دهند.

حالا به یکی از شناخت‌های کلیدی کل این فرضیه می‌رسیم. اگرچه ژن‌های مربوط به پسند ماده خود را در رفتار ماده نشان می‌دهند ولی این ژن‌ها در بدن پرنده‌های نر نیز وجود دارند. به همین ترتیب ژن‌های مربوط به طول دُم نر نیز در بدن ماده وجود دارند، چه خود را نشان دهند، چه ندهند. درک این موضوع که بعضی ژن‌ها نمی‌توانند خود را نشان دهند، مشکل نیست. اگر مردی ژن بلندی آلت جنسی داشته باشد، آن را هم به پسر و هم به دخترش منتقل می‌کند، در پسرش نمود این ژن قابل مشاهده است در حالی‌که در دختر او چنین نیست. زیرا دختر اصلاً آن عضو را ندارد. اما اگر آن مرد صاحب نوه‌هایی شود، پسرهای دخترش ممکن است درست مثل پسرهای پسرش آن ژن را به ارث ببرند. ژن‌ها ممکن است از یک بدن عبور کنند بدون آن‌که نمودی در آن بدن داشته باشند. بنابراین، *فیشر* و *لند* فرض را بر این گذاشته‌اند که ژن‌هایی که در پسند ماده نقش دارند، در بدن نر نیز حمل می‌شوند ولی فقط در بدن ماده خود را نشان می‌دهند یا نمود دارند، و ژن‌های درازی دُمِ نرها هم در بدن ماده وجود دارند بدون آن‌که در آن نمودی داشته باشند.

فرض کنید میکروسکوپی داریم که با آن می‌توانیم درون سلول‌ها و ژن‌های پرنده را ببینیم. پرنده‌ای را که دُمی درازتر از حد معمول دارد می‌گیریم و به سلول‌ها و ژن‌های درون آن نگاه می‌کنیم. ابتدا به ژن‌های طول دُم نگاه می‌کنیم، کشف این‌که ژنی وجود دارد که دُم دراز را ایجاد می‌کند، تعجبی ندارد: معلوم است چون دُم پرنده

دراز است. بعد به ژنی که دُم دراز را می‌پسندد نگاه می‌کنیم. برای این ژن ما نمود بیرونی نداریم زیرا چنین ژنی فقط در ماده‌ها فعال است. با این حال نگاه می‌کنیم؛ چه می‌بینیم؟ ژن‌هایی می‌بینیم که باعث می‌شوند دُمِ دراز ترجیح داده شود. برعکس، اگر به ژن پرنده‌ای که عملاً دُم کوتاهی دارد نگاه می‌کردیم، ژن‌هایی می‌دیدیم که باعث می‌شدند ماده‌ها دُم کوتاه‌تر را ترجیح دهند. این نکته در این بحث خیلی مهم است. دلیل آن در زیر آمده است.

اگر من یک آدم دُم‌دراز باشم، به احتمال قوی پدرم هم دُمِ دراز داشته است. این یک وراثت عادی است ولی از آن‌جا که مادر من، پدرم را به عنوان جفت خود انتخاب کرده، احتمالاً مادرم، نرِ دُم‌دراز را بیش‌تر ترجیح داده است. به این ترتیب من ژن درازی دُم را نه‌تنها از پدرم گرفته‌ام، بلکه احتمالاً از مادر نیز ژن تمایل به دُمِ دراز را به ارث برده‌ام. به همین دلیل اگر به شما ژن کوتاهی دُم رسیده باشد، احتمال این‌که در شما علاوه بر آن، ژن تمایل به دُم کوتاه نیز وجود داشته باشد، زیاد است.

در مورد ماده‌ها هم چنین استدلالی می‌توانیم داشته باشیم. اگر من ماده‌ای باشم که نرهای دُم‌دراز مورد پسندم باشند، احتمالاً مادر من هم نرهای دُم‌دراز را ترجیح می‌داد. بنابراین احتمالاً پدرم چون مورد پسند مادرم واقع شده بود دارای دُم دراز بوده است. به این ترتیب اگر ژن پسندیدن دُم دراز در من به ارث رسیده باشد، این احتمال وجود دارد که ژن درازی دُم هم در بدنم وجود داشته باشد، حالا چه آن ژن‌ها در بدنم نمودی داشته چه نداشته باشند. اگر من ژنی داشته باشم که دُمِ کوتاه را ترجیح می‌دهد، احتمال بیش‌تر این است که ژن داشتن دُمِ کوتاه را هم به ارث برده باشم. در کل، نتیجه این است که هر فرد، از هر جنس که باشد، احتمالاً آن دو ژنی که یکی باعث می‌شود نر یک صفت خاص را داشته باشد و آن دیگری که باعث می‌شود ماده آن صفت را، هر صفتی که می‌خواهد باشد، ترجیح دهد، در خود دارد.

بنابراین این‌طور نیست که ژن‌های مربوط به صفات مردانه و ژن‌هایی که باعث

می‌شوند ماده‌ها آن‌ها را انتخاب کنند، به‌طور تصادفی در جمعیت پراکنده باشند، بلکه این ژن‌ها با هم در کارند. این «با هم‌آیی» تحت نام فنی ترس‌آور وابستگی بی‌تعادل (linkage disequilibrium) در معادلات دانشمندان ریاضی ژنتیک بازی‌های شگفت‌آوری دارد. اگر *فیشر* و *لند* اشتباه نکرده باشند، از نتیجه‌های عجیب و شگفت‌آور آن مخصوصاً تکامل انفجاری دُم‌های طاووس و مرغ بافنده‌ی دُم‌دراز آفریقایی است و همچنین تکامل عضوهای دیگری که باعث جلب توجه می‌شوند. این نتیجه‌ها را فقط باید از راه ریاضی اثبات نمود. ولی با استفاده از واژه‌ها می‌توان شرح داد که آن‌ها چه هستند و ما سعی می‌کنیم در این بحث به زبان غیرریاضی‌مان حال و هوای ریاضی بدهیم. هنوز برای ذهن‌مان کفشِ مناسب دو لازم داریم اگرچه شاید استفاده از کفش کوه در این قیاس مناسب‌تر باشد. هر گام این بحث تقریباً ساده است، ولی برای رسیدن به قله‌ی درک، یک رشته‌ی طولانی از گام‌ها را باید پشت سر گذاشت و اگر مرحله‌ای را در این بین متوجه نشویم، دنبال کردن مراحل بعدی متأسفانه، مشکل می‌شود.

تا این‌جا، ما وجود یک طیف گسترده از پسند ماده را شناختیم، از ماده‌هایی که تمایل به دُم دراز دارند تا ماده‌هایی که سلیقه‌ی آن‌ها عکس این است و نر دُم کوتاه را ترجیح می‌دهند. ولی اگر عملاً از ماده‌های یک جمعیت خاص، رأی می‌گرفتیم، احتمالاً متوجه می‌شدیم که اکثر ماده‌ها، از نظر سلیقه در انتخاب نرها، مانند هم هستند. ما این طیفِ پسندِ ماده را، در آن جمعیت، با همان مقیاسی که طول دُم پرنده را اندازه گرفتیم، یعنی سانتی‌متر می‌سنجیم و می‌توانیم میانگین پسند ماده را نیز با همان واحد سانتی‌متر بیان کنیم. ممکن است که میانگین پسند ماده درست همان میانگین طول دُم نر و، در هر دو مورد، برابر ۷/۵ سانت باشد. در این حالت، انتخاب ماده یک نیروی تکاملی نیست که در جهت درازتر کردن دُم پرنده‌ی نر در کار باشد. شاید این نتیجه به دست آید که میانگین پسند ماده، در مورد طول دُم، بیش‌تر از اندازه‌ی میانگین دُم و مثلاً ۱۰ سانت است به جای ۷/۵ سانت. فعلاً درباره‌ی

این‌که چرا چنین مغایرتی باید وجود داشته باشد بحث نمی‌کنیم، فقط می‌پذیریم که چنین تفاوتی وجود دارد و سؤال بعدی را مطرح می‌کنیم، که پاسخش روشن است. آیا اگر بیش‌تر ماده‌ها دُم ۱۰ سانتی را ترجیح دهند، بیش‌تر نرها در عمل، دُم ۷/۵ سانتی خواهند داشت؟ چرا فشار نیروی انتخاب ماده‌ها باعث نمی‌شود که متوسط طول دُم نرهای آن جمعیت به طرف ۱۰ سانتی شدن میل کند؟ چگونه ممکن است بین اندازه‌ی دُمی که مورد پسند است و میانگین اندازه‌ی دُم واقعی ۲/۵ سانت فاصله وجود داشته باشد؟

پاسخ این است که تنها سلیقه ماده نیست که روی طول دُم پرنده نر اثر می‌گذارد. دُم در پرواز نقش مهمی دارد، دُمی که بیش از اندازه بلند یا کوتاه باشد، از کارایی پرواز می‌کاهد. به علاوه، حمل یک دُم دراز انرژی بیش‌تری می‌گیرد و اصلاً برای ساخت آن دُم انرژی بیش‌تری باید صرف شود. نرهایی که دُم ۱۰ سانتی دارند ممکن است ماده‌ها را بیش‌تر جلب کنند اما در عوض باید بهایی برای آن بپردازند که همان کم شدن قدرت پرواز و بیش‌تر در معرض خطر حیوانات مهاجم قرار گرفتن است. می‌توانیم این‌طور بگوییم که برای طول دُم، حد مطلوبی[۱] وجود دارد که عملی و به صرفه است و این حد مطلوب با حد مطلوب از نظر انتخاب جنسی مغایرت دارد: طول دُمی که از نظر معیارهای مفید معمولی مناسب باشد، طول دمی که از هر نظر مناسب است غیر از جلب کردن ماده‌ها.

آیا باید انتظار داشته باشیم که آن میانگین طول دُمی که واقعاً وجود دارد، و در این مثال ۷/۵ سانت است، درست برابر آن حد مطلوب کارایی باشد؟ نه، باید انتظار داشته باشیم که حد مطلوب کارایی از آن کمتر، مثلاً ۵ سانت باشد. به این دلیل که دُم ۷/۵ سانت درواقع نتیجه‌ی توافقی است بین انتخاب سودمدارانه، که دُم کوتاه‌تر را ترجیح می‌دهد، و انتخاب جنسی، که دُم بلندتر را ترجیح می‌دهد. می‌توان این‌طور برداشت کرد که اگر نیازی به جلب توجه ماده نبود، میانگین دُم به سوی ۵

[۱] Utilitarian optimum

سانتی میل می‌کرد. اگر نگرانی از چگونگی پرواز و هزینه‌های مربوط به آن نبود، متوسط اندازه‌ی دُم به طرف ۱۰ سانت میل می‌کرد. میانگین اندازه واقعی دُم که ۷/۵ سانت است، چیزی بینابین این‌ها است.

هنوز به این پرسش جواب نداده‌ایم که چرا ممکن است ماده‌ها دُمی را ترجیح دهند که اندازه‌اش از میانگین حد مطلوب فاصله دارد. در نظر اول ممکن است چنین چیزی بی‌معنی باشد. ماده‌های مُدپرست که دُمی درازتر از دُم‌های کارآمد را ترجیح می‌دهند، فرزندان نری خواهند داشت که از نظر توانایی پرواز بی‌کیفیت و نارکارآمد هستند. هر ماده‌ی جهش‌یافته‌ای که به‌طور اتفاقی به نر کوتاه‌دُم تمایل نشان دهد، به ویژه ماده‌ی جهش‌یافته‌ای که سلیقه‌اش در مورد اندازه‌ی دُم نر، با حد مطلوب کارایی مطابقت داشته باشد، پسران کارآمدتری به وجود خواهد آورد، که برای پرواز، بدن بهتری دارند و بی‌شک از این نظر، از پسران آن رقیبِ اهل مُد، جلو خواهند افتاد. ولی، خوب باز این‌جا مسئله‌ای هست. موضوع در قضیه مُد پنهان شده است. پسران آن ماده‌ی جهش‌یافته ممکن است پرنده‌های ماهری باشند، ولی از نظر بیش‌تر ماده‌های آن جمعیت، جذاب نیستند و فقط تعداد کمی از ماده‌ها را می‌توانند جلب کنند. ماده‌هایی را که ضدِ مُد باشند و طبق تعریف، یافتن ماده‌های اقلیت، مشکل‌تر از یافتن ماده‌های اکثریت است؛ به این دلیلِ آشکار که تعدادشان کم است. در جمعیتی که فقط برای یکی از هر شش نر امکان جفت‌گیری وجود دارد و نرهای خوش‌اقبال، حرم‌سراهای بزرگی دارند. جوابگوی خواسته‌ی اکثر ماده‌ها بودن، امتیاز بزرگی است، امتیازی که ارزش بیش‌تری از صرف انرژی در جهت سودمداری و حفظ کیفیت پرواز دارد.

حتی در چنین حالتی، ممکن است خواننده شاکی شود که مبنای همه‌ی بحث‌ها یک فرض قراردادی است. با فرض این‌که بیش‌تر ماده‌ها دُم‌های بلند و غیرکارآمد را ترجیح می‌دهند، خواننده هر پیامد دیگر آن را خواهد پذیرفت. ولی از اول چگونه اکثریت چنین چیزی را پسندید؟ چرا اکثر ماده‌ها دُم‌های کوتاه‌تر از آن حد مطلوب را

ترجیح ندادند، یا لااقل دُم‌های هم اندازه‌ی حد مطلوب را؟ چرا نباید مُد و کارایی با هم سازگاری داشته باشند؟ پاسخ این است که هر یک از این حالت‌ها ممکن است رخ دهد و احتمالاً در بسیاری از انواع جانداران رخ داده است. ماده‌های فرضی من که دُم بلند را ترجیح می‌دادند، درواقع دلبخواهی بودند. اما سلیقه‌ی اکثریت ماده‌ها، هرچه که باشد و هر اندازه که اختیاری باشد از طریق انتخاب حفظ یا حتی، تحت بعضی شرایط، تشدید می‌شود. در این‌جای بحث، نبودِ توجیه ریاضی، قابل مشاهده است. من می‌توانستم از خواننده بخواهم که آن منطق ریاضی که *لند* برای اثبات این موضوع به کار می‌برد، بپذیرد و داستان را تمام کنم. شاید این عاقلانه‌ترین روشی بود که باید دنبال می‌کردم. ولی من سعی دارم بخشی از موضوع را با استفاده از واژه‌ها توضیح دهم.

نکته کلیدی این بحث در همان اصطلاح «وابستگی بی‌تعادل» یا «با هم‌آیی» ژن‌هایی است که در تعیین اندازه‌ی دُم – هر چه که باشد – و ژن‌هایی که در ترجیح دادن آن اندازه دُم نقش دارند. می‌توانیم عامل «با هم‌آیی» را یک عدد قابل اندازه‌گیری فرض کنیم. اگر عامل با هم‌آیی بالا باشد، به این معنی است که اطلاعات ما درباره‌ی ژن مربوط به اندازه‌ی دُم یک پرنده آن‌قدر است که می‌توانیم به دقت پسند او را پیش‌بینی کنیم و برعکس. اگر عامل با هم‌آیی پایین باشد، یعنی اطلاعات ما درباره‌ی ژن‌های مربوط به یکی از این دو مورد – طول دُم و پسندیدن آن – فقط می‌تواند تصور کم‌رنگی از چگونگی ژن‌های آن پرنده در آن مورد دیگر به ما بدهد.

چیزی که روی بزرگی عامل با هم‌آیی تأثیر دارد قدرت پسند ماده‌ها است – تا چه اندازه آن‌چه را برایشان نقص پرنده نر محسوب می‌شود نادیده بگیرند؛ تا چه حد گوناگونی طول دُم نر تحت تأثیر ژن‌ها باشد نه عوامل محیطی، و مانند این‌ها. اگر در نتیجه‌ی همه این تأثیرها، عامل با هم‌آیی – جفت و جور شدن ژن‌های مربوط به دُم بلند و ژن‌های مربوط به پسندیدن دُم بلند – قوت داشته باشد، می‌توانیم به این

نتیجه برسیم: هر بار که نری به خاطر دُم بلندش انتخاب می‌شود، آن‌چه انتخاب شده فقط ژن مربوط به بلندی دم نیست. هم‌زمان با آن، به خاطر با هم‌آیی ژن‌ها، ژن‌های مربوط به پسندیدن دُم بلند نیز انتخاب شده است، یعنی آن ژن‌هایی که باعث شده‌اند ماده، نری با طول دُم معینی را انتخاب کند، دارند نسخه‌هایی از خودشان را انتخاب می‌کنند. و این از ضروریات یک فرایند خود تقویت کننده است که در آن شتاب خاصی برای تقویت خود را دارد. این نیرو می‌تواند باعث شود وقتی تکامل در مسیری به جریان افتاد به پیش‌روی در آن مسیر ادامه دهد.

این موضوع را می‌توان با استفاده از اصطلاحی که به «اثر ریش سبز»[۱] معروف است نیز بیان کرد. اثر ریش سبز یک لطیفه زیست‌شناختی است، گرچه کاملاً فرضی است. ولی می‌توان از آن در آموزش استفاده کرد. این موضوع ابتدا به عنوان روشی برای توضیح اصول زیربنایی فرضیه مهم *دبلیو. دی. همیلتون* که درباره‌ی انتخاب خویشاوند بود، مطرح شد و من آن را در کتاب *ژن خودخواه* به طول مفصل شرح داده‌ام. *همیلتون*،[۲] همکار فعلی من در آکسفورد، نشان داد که انتخاب طبیعی ژن‌هایی را ترجیح می‌دهد که نسبت به خویشان نزدیک از خودگذشتگی نشان می‌دهند، به این دلیل که به احتمال زیاد نسخه‌هایی از ژن خود آن‌ها در بدن آن خویشاوند وجود دارند. در فرضیه «ریش سبز» همین موضوع در سطحی کلی‌تر ولی با واقع‌بینی کمتری بیان می‌شود. چنین استدلال می‌شود که خویشاوندی تنها راه ممکنی است که از طریق آن ژن‌ها می‌توانند نسخه‌هایی از خود را در بدن‌های دیگر شناسایی کنند. برمبنای اصول نظری، هر ژن می‌تواند از راه‌های مستقیم‌تری نسخه‌هایی از خود را پیدا کند. فرض کنید ژنی، به‌طور اتفاقی، این دو اثر زیر را دارد (داشتن دو یا تعداد بیش‌تری اثر برای ژن‌ها غیرمعمول نیست): باعث می‌شود که دارنده‌ی آن ژن مشخصه‌ی چشمگیری مثل «ریش سبز» داشته باشد و همچنین

---

۱ Green-Beard effect

۲ W. D. Hamilton

طوری روی مغز آن شخص تأثیر می‌کند که باعث می‌شود او نسبت به افراد ریش سبز رفتار ایثارگرانه‌ای داشته باشد. قبول داریم که احتمال چنین وضعیتی بسیار کم است ولی اگر زمانی رخ دهد پیامد آن از نظر تکاملی، واضح است. انتخاب طبیعی به این ژن ایثارگری ریش سبز بها می‌دهد، دقیقاً به همان دلیلی که [به] ژن‌های از خودگذشتگی نسبت به فرزندان و برادران خود می‌دهد. هر بار که یک ریش سبز به ریش سبز دیگری کمک کند، با این از خودگذشتگی، به نسخه‌ای از خودش لطف کرده است. به این ترتیب، فراوانی ژن ریش سبزی، به صورت خودبه‌خود و اجتناب‌ناپذیر در می‌آید.

درواقع هیچ‌کس، حتی خود من، باور نمی‌کند که اثر ریش سبز به این صورتِ بسیار ساده‌ی خود، هرگز در طبیعت پیدا شود. در طبیعت ژن‌ها به وسیله چیزهایی که کمتر مشخص‌اند در خدمت نسخه‌هایی از خودشان هستند ولی برچسب‌های قابل قبول‌تری از «ریش سبز» دارند. خویشاوندی یک چنین برچسبی است. «برادر»، یا درواقع «کسی که از همان تخمی بیرون آمده که من آمده‌ام»، یک برچسب آماری است. هر ژنی که باعث شود افراد نسبت به دارنده‌ی چنین برچسبی از خودگذشتگی داشته باشند، از نظر آماری شانس زیادی برای کمک به تولید نسخه‌هایی از خودش دارد، زیرا در برادران از نظر آماری احتمال زیادی برای داشتن ژن مشترک وجود دارد. فرضیه *همیلتون* در مورد انتخاب خویشاوند را می‌توان روشی برای قابل قبول کردن اثر «ریش سبز» دانست. در هر صورت باید توجه داشته باشیم که منظور این نیست که ژن‌ها عمداً به رونوشت‌های خودشان کمک می‌کنند، منظور این است که اگر هر ژن، به‌طور اتفاقی اثرش این باشد که به نسخه‌هایی از خودش کمک کند، خواهی نخواهی، در جمعیتی که هست تعدادش فزونی خواهد گرفت.

به این ترتیب، خویشاوندی را می‌شود روشی دانست که از طریق آن می‌توان اثر «ریش سبز» را توجیه کرد. با این حال، فرضیه‌ی انتخاب جنسی *فیشر* راه دیگری برای توجیه اثر «ریش سبز» است. بر اساس آن، وقتی ماده‌های یک جمعیت تمایل

شدیدی به بعضی ویژگی‌های متعلق به نر داشته باشند، به دلایلی که تاکنون دیدیم، در بدن هر نر رونوشت ژن‌هایی که در ماده‌ها باعث می‌شود آن خصوصیات را بپسندند نیز وجود دارد. اگر پرنده‌ی نر، دُمِ درازی از پدرش به ارث برده باشد، این احتمال وجود دارد که از مادرش نیز ژن‌هایی را که باعث شدند او آن نر را انتخاب کند نیز به ارث برده است. اگر او دُمش کوتاه باشد، به احتمال بیش‌تر ژن‌هایی دارد که باعث می‌شوند ماده‌ها دُمِ کوتاه را برگزینند. بنابراین، وقتی ماده‌ای، نری را می‌پسندد، حال دلیل انتخاب هر چه باشد، ژن‌هایی که روی پسند او تأثیر گذاشته‌اند، دارند نسخه‌هایی از خودشان را در آن نرها برمی‌گزینند. درواقع نسخه‌هایی از خودشان که برچسبش درازی دُم است را انتخاب می‌کنند، که صورت پیچیده‌تری از همان روش فرضی است که در آن ژنِ «ریش سبزی» از «ریش سبز» به عنوان یک برچسب استفاده می‌کند.

اگر نیمی از ماده‌ها دُمِ بلند را می‌پسندیدند و نیمی دیگر دُم کوتاه را، ژن‌های مربوط به انتخاب ماده‌ها، هر کدام هنوز نسخه‌های خودشان را برگزیده بودند و در کل نوعی از دُم بر دیگری ارجحیت نداشت. شاید این تمایل در جمعیت باشد که به دو بخش جدا شود: جناح دُم‌بلند و طرفدار دُمِ بلند و جناح دُم‌کوتاه و طرفدار دُمِ کوتاه. اما چنین انشعاب دو شاخه‌ای در نگرش ماده‌ها، وضعیت پایداری نیست. هر وقت یکی از آن دو جناحِ ماده اکثریت پیدا کند، ولی اکثریتی بسیار ضعیف، این وضعیت در نسل‌های بعد تکرار می‌شود. دلیل‌اش این است که آن نرها که برای ماده‌هایی که به مکتب فکری اقلیت تعلق دارند جالب‌ترند، در یافتن جفت مشکل خواهند داشت. و پسران ماده‌های مکتب فکری اقلیت هم تقریباً در یافتن جفت بی‌مشکل نخواهند بود، و بنابراین ماده‌های جناح اقلیت فرزندزادگان کمتری خواهند داشت. هرگاه اقلیت در جهت کمتر شدن و اکثریت در جهت بیش‌تر شدن پیش برود، دستورالعمل ما فیدبک مثبت است: «به آن‌که دارد بیش‌تر داده می‌شود، او فراوانی خواهد یافت؛ اما از آن‌که ندارد گرفته می‌شود، حتی همانی را که دارد.» هر گاه تعادل

ناپایدار باشد، هر شروع اتفاقی و دلبخواهی خود تقویت کننده خواهد بود. درست مثل این است که وقتی می‌خواهیم تنه‌ی یک درخت را قطع کنیم، ابتدا ممکن است ندانیم که درخت به طرف شمال یا جنوب خواهد افتاد. اما بعد از مدتی در تردید ماندن، درخت به یکی از دو طرف میل می‌کند، بعد از آن دیگر چیزی نمی‌تواند مانعش شود که در آن جهت پیش نرود.

بند کفش‌های کوه‌مان را سفت‌تر می‌کنیم، تا مطمئن‌تر از قبل مسیر دیگری را طی کنیم. به یاد بیاورید که دُم نر را از یک طرف پسند ماده می‌کشید و از طرف دیگر انتخابِ کارآمد بودن (البته، منظور کشیدن در مفهوم تکاملی آن است) و در عمل، اندازه میانگین دُم حاصل برآیند این دو کِشش بود. حالا بیایید ببینیم کمیتی که «مغایرت‌پسند» (Coice discrepancy) نام گرفته، چیست؟ این کمیت تفاوت بین میانگین اندازه واقعی دُم نرهای جمعیت و طول دُم آرمانی برای متوسط ماده‌های آن جمعیت است. واحدی که با آن «مغایرت‌پسند» را بشود سنجید مثل فارنهایت و سانتی‌گراد (واحدهای دما) قراردادی است. همان‌طور که برای سانتی‌گراد راحت‌تر است درجه‌ی صفرش را مقابل نقطه‌ی انجماد آب قرار دهد، برای ما راحت‌تر است که درجه‌ی صفرمان را جایی قرار دهیم که کشش انتخاب جنسی درست برابر با آن کشش دیگر، یعنی انتخاب کارآمدی باشد. به عبارت دیگر، مغایرت‌پسند صفر یعنی تغییر تکاملی به توقف رسیده زیرا این دو کشش انتخاب کاملاً یکدیگر را خنثی کرده‌اند.

آشکار است هرچه مغایرت‌پسند بیش‌تر باشد، کشش تکاملی انتخاب ماده در برابر آن کشش دیگر، که انتخاب طبیعی کارآمد بودن است، نیروی بیش‌تر دارد. برای ما مهم این است که چگونگی تغییر مغایرت‌پسند را در نسل‌های متوالی دریابیم، نه اندازه‌ی مطلق مغایرت‌پسند را در زمان‌های مختلف. در نتیجه‌ی یک میزانِ خاص از مغایرت‌پسند، دُم‌ها بلندتر شده و همزمان با آن، اندازه‌ی دُمی که خوشایند ماده باشد هم درازتر می‌شود (فراموش نکنیم ژن‌هایی که باعث انتخاب دُم

دراز می‌شوند هماهنگ با آن ژن درازی دُم انتخاب می‌شوند). پس از گذشت یک نسل از این انتخاب دوگانه، هم میانگین طول دُم و هم میانگین دُم مورد پسند زیادتر می‌شود ولی کدام یک افزایش بیش‌تری دارد؟ یا درواقع این پرسش مطرح است که چه بر سر مغایرت‌پسند می‌آید؟

اندازه‌ی مغایرت‌پسند ممکن بود ثابت بماند (اگر متوسط طول دُم و متوسط دُمِ مورد پسند به یک اندازه افزایش می‌یافتند). ممکن بود میزان مغایرت کوچک‌تر شود (در صورتی که میانگین طول دُم بیش‌تر از میانگین طول دُمِ مورد پسند افزایش می‌یافت). یا بالاخره ممکن بود اندازه مغایرت بیش‌تر بشود (اگر متوسط طول دُم قدری افزایش می‌یافت، اما افزایش متوسط طول دُم مورد پسند از آن بیش‌تر بود). کم‌کم قضیه روشن می‌شود، اگر با بلندتر شدن دُم اندازه‌ی مغایرت‌پسند، کوچک‌تر شود، طول دُم به سوی یک تعادل پایدار میل می‌کند. اما اگر با بلندتر شدن دُم، مغایرت‌پسند بیش‌تر شود بر اساس اصول نظری در نسل‌های آینده باید شاهد قد کشیدن رو به افزایش دُم‌ها باشیم. بی‌شک، این باید همان چیزی باشد که *فیشر* پیش از ۱۹۳۰ به آن رسیده ولی مردم آن زمان نوشته‌ی مختصر او را خوب درک نکردند.

بیایید اول موردی را در نظر آوریم که در آن مغایرت‌پسند با گذشت نسل‌ها رو به کوچک‌تر شدن می‌رود. سرانجام آن‌قدر کوچک می‌شود که کششِ پسندِ ماده‌ها از یک سو کاملاً با کششِ انتخابِ کارآیی از سوی دیگر برابری می‌کند. آن‌گاه جریان تغییر تکاملی به توقف می‌رسد. و می‌گوییم در این نظام حالت موازنه برقرار شده است. نکته جالبی که *لند* اثبات کرد، این است که لااقل در بعضی شرایط، نه فقط یک نقطه‌ی تعادل، بلکه تعداد بسیاری نقطه‌ی تعادل وجود دارد (بر اساس اصول نظری، تعداد بی‌شماری نقطه که به ترتیب روی یک خط راست در نمودار قرار دارند. صورت ریاضی‌اش پای خودتان!) نقطه‌ی تعادل یکی نیست، بلکه بسیار است: برای هر میزانِ انتخابِ کارآیی در مقابل، یک میزانِ پسندِ ماده هم وجود دارد که با هم در نقطه‌ای به یک تعادل می‌رسند.

بنابراین، اگر میزان مغایرت‌پسند طوری باشد که با گذشت نسل‌ها در جهت کم شدن پیش برود، آن جمعیت در نزدیک‌ترین نقطه به وضعیت تعادل قرار خواهد گرفت. در این‌جا انتخاب کارآیی با کششی که در یک جهت دارد با کشش انتخاب جنسی، از سوی دیگر، کاملاً خنثی خواهد شد و اندازه‌ی دُم هر قدر که باشد، تغییر نخواهد کرد. شاید خواننده متوجه شده باشد که در این‌جا ما با یک نظام فیدبک منفی روبه‌رو هستیم، البته از نوعی که یک‌کم غیرمعمول است. اگر هر وقت تعادل یا آرامش چیزی را به هم بزنیم و آن چیز دوباره به حالت اول برگردد می‌گوییم فیدبک منفی وجود دارد. اگر دمای اتاقی را مثلاً با باز کردن پنجره تغییر دهیم، ترموستات با روشن کردن وسیله‌ی گرمازا آن را جبران می‌کند.

چگونه می‌توان آرامش نظام انتخاب جنسی را بر هم زد؟ یادمان باشد درباره‌ی مقیاسِ زمانیِ طولانیِ تکاملی بحث می‌کنیم، بنابراین انجام آزمایش در آن طوری نیست – یعنی انجام آزمایشی که معادل باز کردن پنجره باشد – که زنده باشیم و نتیجه‌اش را ببینیم. اما بدون تردید، در طبیعت، به دفعات این سیستم بر اثر عواملی مانند فراز و نشیب‌های اتفاقی در تعداد نرها بر اثر پیشامدهای مساعد یا نامساعد دچار نوساناتی می‌شود. هر گاه چنین حادثه‌ای رخ دهد با فرض این‌که در شرایطی که تاکنون بحث کرده‌ایم باشیم، ترکیبی از انتخاب کارآیی و انتخاب جنسی، جمعیت را به نزدیک یک نقطه از مجموعه‌ی نقاط تعادل برمی‌گرداند. این نقطه احتمالاً همان نقطه‌ی تعادل قبلی نیست، اما در هر صورت نقطه‌ی دیگری است که کمی بالاتر یا پایین‌تر در امتداد خط نقاط تعادل قرار دارد. به این ترتیب، با گذشت زمان، جمعیت ممکن است در طول خطی که نقاط تعادل روی آن قرار دارند، به طرف بالا یا پایین کشیده شود. رانده شود به سوی بالا یعنی دُم‌ها بلندتر می‌شوند – بر اساس اصول نظری برای بلندی دُم محدودیتی وجود ندارد. رانده شدن دُم به طرف پایین یعنی کوتاه‌تر شدن دُم نیز – بر اساس اصول نظری ممکن است آن‌قدر باشد که اندازه‌ی دُم به صفر برسد.

برای توضیح مفهوم تعادل اغلب از ترموستات استفاده می‌کنند. می‌توانیم از صورت گسترده‌تر این قیاس برای توضیح مفهوم خطِ نقاطِ تعادل هم استفاده کنیم. اتاقی را در نظر آورید که هم وسیله سرمازا و هم وسیله‌ی گرمازا دارد و هر کدامِ این‌ها ترموستاتی دارد. هر دو ترموستات طوری تنظیم شده‌اند که دمای اتاق روی ۳۳ [درجه‌ی] سانتی‌گراد ثابت باشد. اگر دما کمتر از ۳۳ درجه شود وسیله گرمازا خودبه‌خود روشن شده و وسیله سرمازا خودبه‌خود خاموش می‌شود. اگر دما بالای ۳۳ درجه برود، وسیله سرمازا خودبه‌خود روشن و وسیله گرمازا خاموش می‌شود. آن‌چه با دما (که در درجه ۳۳ ثابت است) در این‌جا مقایسه می‌شود طول دُم مرغ بافنده نیست بلکه کل میزان مصرف برق است. نکته این‌جاست که برای رسیدن به آن دمای مورد نظر، راه‌های متفاوتی وجود دارند. ممکن است هر دو وسیله به شدت در کار باشند، وسیله گرمازا تندتند کار کند و گرما تولید نماید و وسیله سرمازا نیز با کار خود آن حرارت زیاد را متعادل کند. یا ممکن است با کمتر کردن وسیله گرمازا و به همان نسبت کمتر کردن وسیله سرمازا به دمای مورد نظر رسید. یا اصلاً با کم کار کردن یا خیلی کم کار کردن هر دو وسیله آن دما را ایجاد کرد. بدیهی است این آخرین روش، از نظر صورتحساب برق، بهترین روش است، اما اگر فقط هدف داشتن دمای ۳۳ درجه باشد، هر یک از آن روش‌های دیگر هم همین نتیجه را خواهد داد. به این ترتیب به جای نقطه‌ی تعادل، خط تعادل داریم. بسته به این‌که چطور سیستم تنظیم شود، بسته به درنگ‌های سیستم و مواردی از این قبیل که به مهندسان مربوط می شود، می‌توان در امتداد خط تعادل میزان مصرف برق اتاق را کم و زیاد کرد ولی دمای اتاق را ثابت نگه داشت. اگر دما کمی زیر ۳۳ درجه بیاید، دوباره برمی‌گردد ولی نه الزاماً درست به همان نقطه‌ای که از نظر ترکیب کارکرد وسیله گرمازا و سرمازایی بود. ممکن است به نقطه‌ی دیگری در خط نقاط تعادل برگردد.

در عمل، در دنیا مهندسی، تنظیم کردن اتاق به‌طوری‌که یک خط تعادل واقعی وجود داشته باشد بسیار مشکل است. در اجرا، در این خط احتمال دارد روی

نقطه‌ای تأکید شود. بحث *راسل لند* هم درباره‌ی خط تعادل در انتخاب جنسی بر مبنای فرض‌هایی است که ممکن است در طبیعت خیلی صادق نباشند. برای مثال، فرض می‌شود که ذخیره یکنواختی از جهش‌های جدید وجود دارد. فرض می‌شود که امرِ انتخاب، توسط ماده، کاملاً بدون هزینه است. اگر این فرض‌ها بر هم بخورد، که احتمالش زیاد است، خط تعادل فشرده و تبدیل به نقطه‌ی تعادل می‌شود. به هر صورت ما تا کنون در موردی بحث کرده‌ایم که مغایرت‌پسند با گذشت نسل‌های پیاپیِ انتخاب کوچک‌تر می‌شود. در شرایط دیگری ممکن است مغایرت‌پسند بیش‌تر شود.

مدتی از زمان صحبت ما درباره‌ی این موضوع گذشته است، پس بد نیست یادآوری دوباره‌ای داشته باشیم. ما جمعیتی داریم که در آن نرها از نظر یک ویژگی، مثلاً درازی دُم، در حال تغییراند زیرا از طرفی تحت تأثیر ماده‌ها هستند که دُم درازتر را می‌پسندند و از طرف دیگر تحت تأثیر انتخاب کارآیی‌اند که در آن دُم کوتاه‌تر ارجح است. دلیل این‌که جهت تکامل دُم به سوی بلندتر شدن گرایش دارد این است که هر بار که یک ماده، نری را برمی‌گزیند که دُم خوشایندی دارد، به علت این‌که با هم‌آیی ژن‌ها اتفاقی نیست، درواقع آن ماده دارد با این کار همان ژن‌هایی که او را وادار کردند این نوع دُم را بپسندد، انتخاب می‌کند. بنابراین، در نسل بعدی، نه فقط دُمِ نرها درازتر خواهد بود، بلکه ماده‌ها تمایل بیش‌تری به دُمِ بلند خواهند داشت. معلوم نیست باگذشت نسل‌ها، از این دو فرایند که سرعت فزاینده‌ای دارند کدام یک پیشی خواهد گرفت. ما قبل از این موردی را بررسی کردیم که در هر نسل، طویل‌تر شدنِ دُمِ نر سریع‌تر از شدت انتخاب ماده بود. حالا به آن صورتِ ممکنِ دیگر می‌رسیم که در آن با گذشت هر نسل، پسندِ ماده با سرعت بیش‌تری از طول دُمِ نر افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر، می‌خواهیم موردی را بحث کنیم که در آن با گذشت نسل‌ها، مغایرت‌پسند بیش‌تر می‌شود، نه آن‌طور که در پاراگراف‌های قبل کوچک‌تر می‌شد.

در این‌جا، نتیجه‌های نظری از قبل عجیب‌تر و باورنکردنی‌تراند. به جای فیدبک منفی، فیدبک مثبت داریم. با گذشت نسل‌ها، دُم‌ها درازتر می‌شوند ولی تمایل ماده نسبت به دُم دراز در نر با شدت بیش‌تری افزایش می‌یابد. بر اساس اصول نظری، این یعنی دُم‌ها با گذشت نسل‌ها با سرعت رو به افزایشی بلندتر می‌شوند. بر اساس تئوری، طول دُم ممکن است تا مثلاً ده مایل برسد. البته، در عمل، قواعد بازی، خیلی پیش از این‌که دُم به آن درازیِ بی‌فایده برسد، تغییر می‌کند، درست همان‌طور که موتور بخار ما با آن برگردان تنظیم کننده‌ی واتی که داشت، در عمل به سرعت یک میلیون دور در ثانیه نمی‌رسید. گرچه ما مجبوریم وقتی به نهایت‌ها می‌رسیم، نتیجه‌ی مدل ریاضی را سبک‌تر کنیم ولی نتیجه آن مدل ممکن است در مورد یک طیف از شرایطِ عملاً قابلِ قبول، صادق باشد.

اکنون، بعد از گذشت پنجاه سال می‌توانیم متوجه منظور *فیشر* شویم وقتی بی‌مهابا اصرار می‌ورزید که «دیدن تناسب بین سرعت رشد با رشدی که قبلاً داشته، آسان است که یا به صورت نمایی از زمان زیاد می‌شود یا افزایش آن به صورت تصاعد هندسی است.» منطق او درست مانند نظر *لند* بود که می‌گفت: «دو کیفیتی که تحت تأثیر چنین فرایندی باشند، مثل رویش پر و بال در نرها، و ترجیح دادن ماده‌ها چنین پر و بالی را، باید پابه‌پای هم، و با سرعت فزاینده‌ای پیش بروند، مگر این‌که جریان شدیدی مخالف این انتخاب پیدا شود و این فرایند را از دور خارج کند.»

این واقعیت که *فیشر* و *لند* هر دو با استفاده از استدلال ریاضی به نتیجه‌ی یکسان و شگفت‌آوری رسیده‌اند نمی‌تواند دلیل این باشد که فرضیه‌ی آن‌ها بازتاب صحیحی است، از آن‌چه در طبیعت می‌گذرد. همان‌طور که *پیتر ادانلد* (Peter O'Donald) یکی از متخصص‌های ژنتیک دانشگاه آکسفورد و از شخصیت‌های پیشرو در نظریه‌ی انتخاب جنسی گفته است: می‌توانست این‌طور باشد که آن کیفیت کنترل‌نشدنی که در مدل *لند* بود، در فرض اولیه قرار بگیرد و در

آن سر دیگر استدلال ریاضی چنین حالت خسته‌کننده‌ای را به وجود نیاورد. بعضی از نظریه‌پردازان، از جمله *آلن گرافن* و *دبلیو. دی. همیلتون* نوع دیگری از فرضیه را ترجیح می‌دهند که در آن انتخابی که ماده می‌کند واقعاً اثر سودمندی روی فرزندانش از نظر کارآیی و بهسازی نژاد دارد. فرضیه‌ای که آن دو با هم بر روی آن کار می‌کنند این است که کار پرنده‌های ماده شباهت زیاد به تشخیص در کار پزشکان دارد، نرهایی را برمی‌گزینند که حداقل آسیب‌پذیری را در برابر انگل‌ها دارند. بر اساس این فرضیه، که روشنی و صراحت خاص دیگر فرضیه‌های *همیلتون* را دارد، پر و بالِ خوش‌رنگ و درخشانِ پرنده‌ی نر، خبر از سلامت او می‌دهد.

توضیح دادن اهمیت انگل‌ها از نظر تئوری، وقت زیادی می‌گیرد. مختصر این‌که مسئله‌ی پسندِ ماده در همه‌ی تئوری‌های بهسازیِ نژاد همیشه چنین است: اگر ماده‌ها موفق می‌شدند نرهای دارای بهترین ژن را انتخاب کنند، موفقیت آن‌ها گستره‌ی انتخاب را در آینده کم می‌کرد؛ در نتیجه اگر فقط ژن خوب وجود داشت، مسأله‌ی انتخاب منتفی بود. وجود انگل‌ها این مخالفت در اصول نظری را برطرف می‌کند. بنا به نظریه *همیلتون*، دلیلش این است که همواره بین انگل و میزبان یک مبارزه تسلیحاتی دوره‌ای علیه یکدیگر در جریان است. این به نوبه خود چنین معنا می‌دهد که بهترین ژن‌های یک نسل از پرندگان، در نسل بعد بهترین ژن‌ها نیستند. چیزی که برای از بین بردن انگل‌های این نسل لازم است، ممکن است برای نسل بعد در مقابل انگل‌های در حال تکامل، دیگر کارآیی نداشته باشد. بنابراین همیشه نرهایی وجود دارند که از نظر ژنی آماده‌تر از بقیه با انواع انگل‌های موجود مبارزه می‌کنند. به این ترتیب، ماده‌ها همیشه می‌توانند با انتخاب سالم‌ترین نرهای نسل خود به فرزندانشان خدمت کنند. تنها ضابطه‌ی کلی که نسل‌های پیاپی ماده می‌توانند در نظر بگیرند، شاخص‌هایی است که هر سرباز کهنه‌کار از آن سر در می‌آورد – چشم درخشنده، پر و بال براق و مانند این‌ها، فقط نرهای واقعاً تندرست این نشانه‌های سلامت را دارند، بنابراین به آن‌هایی که این ویژگی‌ها را تمام و کمال نشان می‌دهند

و حتی با دُمِ بیش از اندازه دراز و چتر بسیار گسترده آن را بیش‌تر بـه رخ می‌کشـند، انتخاب طبیعی عنایت بیش‌تری دارد.

اما گرچه فرضیه انگل در جای خود مناسبت دارد، در این‌جـا ربطـی بـه موضـوع این فصل، یعنی انفجار ندارد. برمی‌گردیم به فرضیه‌ی بی‌کنترلی مربوط به *فیشرلند* و چیزی که اکنون لازم است، آوردن شـواهدی از حیوانـات واقعـی اسـت. چگـونه بایـد دنبال چنین شواهدی باشیم؟ از چه روش‌هایی استفاده کنیم؟ *مالت اندرسون* سـوئدی رویکرد امیدوارکننده‌ای به این موضوع دارد. از قرار معلوم او روی همان پرنده‌ای کار کرده است که من در این‌جا برای بحثِ نظری انتخاب کـرده‌ام: مـرغ بافنـده‌ی دُم‌دراز. او این پرنده را در محیـط طـبیعی‌اش در کنیـا مـورد بررسـی قـرار داد. یـک پیشـرفت جدیـد در فنـاوری – چسـب قطـره‌ای – انجـام آزمـایش *آندرسـون* را مقـدور سـاخت. استدلال او چنین بود: اگر قبول داشته باشیم که طول واقعی دُمِ پرنده چیـزی بینـابین حد مطلوب کارآیی از یک سو و آن‌چه مورد پسند ماده‌هاست، از سـوی دیگـر باشـد، باید بتوان با دادن دُمِ بسیار بلند به پرنده‌ی نر او را فوق‌العاده جذاب کرد. این‌جاست که پای چسـب قطـره‌ای بـه میـان می‌آیـد. آزمـایش *آندرسـون* را به‌طـور خلاصـه شـرح می‌دهم، زیرا نمونه‌ی شُسته‌رُفته‌ای از یک طرح آزمایشی است.

آندرسون ۳۶ پرنده‌ی نر گرفت و آن‌ها را به ۹ دسته‌ی ۴ تایی تقسـیم کـرد. بـا هـر دسـته‌ی چهارتـایی یکسـان رفتـار می‌شـد. دُمِ یـک عضـو هـر دسـته‌ی چهارتـایی، کـه تصادفی برگزیده می‌شد (و با دقت سعی می‌شد از هر اعمال نظر ناخودآگـاهی پرهیز شود) کوتاه می‌شد تـا انـدازه‌ی آن ۱۴ سـانتی‌متر باشـد. آن قسـمت بریـده شـده را بـا چسب قطره‌ای فوری، به انتهای دُم عضو دوم آن دسته‌ی چهارتایی می‌چسـباندند. بـه این ترتیب دُمِ اولی مصنوعاً کوتاه و دُمِ دومی به‌طور مصنوعی بلند می‌شد. دُمِ سـومی را [برای مقایسه] دست نخورده باقی گذاشتند، و پرنده‌ی چهارم هم دُمش به اندازه‌ی قبل باقی ماند ولی نه دست نخورده، انتهای پرهای دُم را بریدند و دوباره چسـباندند. شاید به نظر کار بی‌فایده‌ای بیاید ولی نمونه‌ی خوبی است برای این‌که نشـان دهـد در

طرح آزمایش تا چه اندازه دقت شده است. ممکن بود گرفتن و دستکاری کردن دُم پرنده توسط انسان، بیش‌تر از خود طول دُم روی پرنده اثر داشته باشد. دسته‌ی چهارم یک گروه «شاهد» بود تا چنین تأثیراتی با آن مقایسه شود.

منظور این بود که موفقیت جفت‌یابی هر پرنده را با دیگر اعضاء آن دسته‌ی چهارتایی که وضعیت‌های متفاوتی داشتند مقایسه کنند. بعد از این‌که در مورد هر یک از افراد آن دسته‌ی چهارتایی یکی از آن ۴ حالت اعمال شد، گذاشتند هر پرنده‌ی نر به جایگاه قبلی در حوزه‌ی خودش برگردد. در آن‌جا پرنده به روش معمول در پی جلب توجه و جفت‌گیری با ماده‌ها و نیز لانه‌سازی و روی تخم خوابیدن بود. مسئله این بود که کدام عضو در هر گروه ۴تایی بیش‌ترین موفقیت را در جلب ماده‌ها دارد؟ آندرسون این را اندازه گرفت البته نه فقط با تماشای ماده‌ها، بلکه او مدتی صبر کرد بعد، در قلمرو آن پرنده نر، لانه‌هایی را که تخم در آن‌ها بود شمرد. و دریافت نرهایی که دُمشان مصنوعاً بلندتر شده بود، تقریباً چهار برابر بیش‌تر از نرهایی که دُمشان مصنوعاً کوتاه شده بود، ماده‌ها را جلب می‌کردند. آن‌ها که اندازه‌ی دُم‌شان معمولی بود، از نظر موفقیت در حد متوسط بودند.

نتیجه‌ها از نظر آماری تحلیل شد تا مبادا فقط حاصل شانس تنها باشد. معلوم شد اگر ماده‌های جلب کننده تنها ضابطه باشند، دُمِ دراز برای پرنده‌ی نر به دردخورتر از دُم معمولی است. به عبارت دیگر، انتخاب جنسی مدام در حال کشیدن دُم است (کشیدن از نظر تکاملی) تا آن را بلندتر کند. این واقعیت که دُم‌های واقعی کوتاه‌تر از آن حدی هستند که ماده می‌پسندد، به این معنی می‌تواند باشد که فشار انتخاب دیگری آن‌ها را کوتاه نگه می‌دارد و آن انتخاب کارآیی است. شاید نرهایی که دُمشان به‌طور خاصی بلند است، بیش‌تر در معرض نابودی باشند تا نرهای دارای دُم متوسط. متأسفانه *آندرسون* وقت کافی نداشت که ادامه‌ی سرنوشت این پرنده‌های دستکاری شده‌ی مورد آزمایش را دنبال کند. اگر این کار را می‌کرد، پیش‌بینی می‌شود که نرهایی که دُمِ اضافه به آن‌ها چسبانده بودند باید به‌طور متوسط زودتر از

نرهای معمولی می‌مُردند، شاید به این علت که بیش‌تر در معرض خطر جانوران غالب قرار می‌گرفتند. نرهایی که دُمشان مصنوعاً کوتاه‌تر شده بود به حد مطلوبِ کارآیی نزدیک‌تر بودند و بنابراین باید عمر درازتری می‌داشتند. در این مورد فرض و گمان زیادی وجود دارد. اگر معلوم شود آن اِشکال اصلی دُم‌درازی را که عدم کارآیی می‌دانستند، در درجه‌ی اول هزینه‌ی اقتصادی رشد چنین دُمِ درازی باشد، نباید انتظار داشت نرهایی که دُمِ بسیار بلندی را به عنوان هدیه‌ای رایگان از *آندرسون* دریافت کرده بودند، به همین دلیل جوانمرگ شده باشند.

طوری مطلب مطرح شده که به نظر می‌رسد در پسند ماده این کشش وجود دارد که دُم و دیگر آرایه‌های پرنده‌ی نر در جهت بلندتر شدن گرایش داشته باشند. بر اساس اصول نظری، همان‌طور که قبلاً دیدیم، دلیلی وجود ندارد برای این‌که پسند ماده دقیقاً در جهت مخالف عمل نکند و مثلاً به جای این‌که باعث بلندتر شدن دُم نر شود، مدام آن را کوتاه‌تر کند. پرنده‌ی الیکایی[1] معمولی دُمش آن‌قدر کلفت و کوتاه است که اصلاً به نظر نمی‌رسد دُم داشته باشد و احتمالاً کوتاه‌تر از آن است که کارآیی لازم را داشته باشد. رقابت بین الیکایی‌های نر شدید است، شاید این را از بلندی بی‌تناسب آواز آن‌ها حدس زده باشید. برای چنین آوازی یقیناً باید هزینه‌ی زیادی کرد و الیکایی‌های نر معروف‌اند به این‌که تا حد مرگ می‌خوانند. نرهای موفق، در قلمرو خویش، بیش از یک ماده دارند، از این نظر به مرغ بافنده شباهت دارند. در چنین فضای پُر رقابتی، احتمالاً باید انتظار داشت که فیدبک مثبت در جریان باشد. آیا ممکن است دُم کلفت و کوتاه پرنده‌ی الیکایی نمایشی از محصول نهایی یک فرایند تکاملی فشرده شده‌ی کنترل نشدنی باشد؟

اگر پرنده‌ی الیکایی را کنار بگذازیم، چتر طاووس و دُم مرغ بافند و دُم مرغ بهشت، با زرق و برق اغراق‌آمیزی که دارند، را می‌توانیم به عنوان محصول نهایی یک تکامل چرخه‌ای انفجاری، از طریق فیدبک مثبت بپذیریم. *فیشر* و پیروان جدید

[1] Wren

او به ما نشان داده‌اند که چطور ممکن است چنین چیزی رخ دهد. آیا چنین مفهومی کاملاً به انتخاب جنسی وابستگی دارد یا می‌توانیم در انواع دیگرِ تکامل قیاس قابل توجیهی برای آن بیابیم؟ پرسیدن این سؤال ارزش دارد حتی اگر فقط به خاطر یافتن دلیلی برای بعضی از جنبه‌های تکاملِ خود ما باشد که درباره‌ی آن بیش از یک نظر انفجاری مطرح است، و از همه قابل توجه‌تر مغز بادکرده‌ی ماست که رشد فوق‌العاده سریعی ظرف چند میلیون سال اخیر داشته است. نظر داده‌اند که این خود به خاطر انتخاب جنسی است، مغزدار بودن (یا بعضی از تظاهرات مغزدار بودن، مثل توانایی به یاد سپردن گام‌های یک رقص آیینی طولانی و پیچیده) از نظر جنسی کیفیت خوشایندی است. اما ممکن است اندازه‌ی مغز تحت تأثیر نوعی انتخاب، که قابل قیاس ولی نه یکسان با انتخاب جنسی است، به حد انفجار رسیده باشد. من فکر می‌کنم بهتر این است که دو سطح ممکن برای قیاس آن با انتخاب جنسی در نظر بگیریم، قیاس قوی و قیاس ضعیف.

در قیاس ضعیف، هر فرایند تکاملی، که در آن محصولِ هر گامِ تکامل، مقدمه‌ای برای برداشتن گام بعدی است، پیش‌رونده و گاهی به صورت انفجاری پیش‌رونده است. ما قبلاً در فصل پیش این موضوع را به صورت «مسابقه‌ی تسلیحاتی» دیدیم. هر پیشرفت تکاملی در طرح جانورانِ غالب، فشار روی طعمه را تغییر می‌دهد و به این ترتیب باعث می‌شود آن طعمه در گریز از جانور غالب بهتر عمل کند. این امر به نوبه‌ی خود فشاری می‌شود برای بهتر کردن جانور غالب، به این ترتیب ما یک چرخه مارپیچی رو به افزایش داریم. همان‌طور که دیدیم، احتمالاً نه جانور غالب به موفقیت بیش‌تری می‌رسد نه طعمه، زیرا طرف‌های مقابل آن‌ها هم‌زمان با آن‌ها در حال بهتر شدن هستند. در هر صورت، هم جانور غالب و هم طعمه به‌طور فزاینده‌ای در حال مجهزتر شدن هستند. این قیاس ضعیف در انتخاب جنسی است. بر اساس قیاس قوی، که جوهر فرضیه‌ی فیشر/لند است، پدیده‌ای مانند «ریش سبز» که در آن ژن‌های مربوط به پسند ماده به‌طور خودکار تمایل به انتخاب نسخه‌هایی از خودشان

دارند، فرایندی است که گرایش خودانگیخته‌ای برای انفجاری شدن دارد. معلوم نیست که غیر از خود انتخاب جنسی، موارد دیگری از این نوع پدیده وجود داشته باشد.

من فکر می‌کنم جایی که بشود در آن نمونه‌هایی قابل قیاس با تکامل انفجاری از نوع انتخاب جنسی یافت، تکامل فرهنگی بشر است. زیرا در این‌جا هم، انتخابی که از روی تمایل و خواست باشد اهمیت دارد، و چنین انتخابی تابع «مُد» یا «نظر اکثریت» است. یک بار دیگر، هشداری را که در ابتدای این فصل آمده بود، یادآوری می‌کنم. تکامل فرهنگی اصلاً تکامل واقعی نیست اگر با دقت و سختگیرانه معنی واقعی کلمات آن را در نظر بگیریم، البته ممکن است چیزهای مشترکِ زیادی با تکامل داشته باشد که تا حدی مقایسه‌ی اصول آن‌ها را قابل قبول کند. در این کار، نباید تفاوت‌ها را دست‌کم بگیریم. بیایید این موضوعات را کنار بگیریم و سراغ مسئله خاص «انفجار مارپیچی» برویم.

بارها گفته‌اند – و هر کم‌عقلی متوجه می‌شود – که در بسیاری از ابعاد تاریخ بشر یک چیز تکامل مانندی وجود دارد. اگر نمونه‌ای از بُعد خاصی از زندگی بشر را در فواصل معنی زمانی در نظر بگیریم، مثلاً نمونه‌ای از وضعیت آگاهی علم، نوع موسیقی‌ای که اجرا می‌شود، شیوه‌ی رایج لباس پوشیدن، یا وسیله‌ی نقلیه را در فاصله‌های صد ساله یا ده ساله بررسی کنیم، به آن روند پی می‌بریم. اگر سه نمونه داشته باشیم که به ترتیب به زمان‌های متوالی A و B و C تعلق داشته باشند، آن‌گاه گفتن این‌که *روند* وجود دارد مانند این است که بگوییم سنجش به دست آمده از B چیزی است بین چیزهایی که در زمان‌های A و C سنجیده شده است. با وجود استثناهایی که وجود دارد، همه قبول دارند که چنین روندهایی از ویژگی‌های بسیاری از جنبه‌های زندگی متمدن است. مسلماً گاهی جهت این روند کاملاً برعکس می‌شود (نمونه‌اش بلندی دامن زنان است) و چنین حالتی در مورد تکامل ژنی هم صادق است.

بسیاری از گرایش‌ها، مخصوصاً گرایش‌های موجود در تکنولوژی‌های مفید، در مقابل مُدهای سطحی و سبک، را می‌توان پیشرفت محسوب کرد، به ویژه اگر بدون در نظر گرفتن ارزش‌ها باشد و روی معیارهای این داوری حساس نباشیم. مثلاً، وسیله نقلیه برای جابه‌جا شدن در دنیا، حرکت یکنواخت رو به جلو و بدون بازگشتی را در طول ۲۰۰ سال گذشته طی کرده است و از وسایلی که با اسب و ماشین بخار کشیده می‌شد امروز به هواپیمای مافوق صوت رسیده‌اند. واژه‌ی پیشرفت در این‌جا بار مثبت یا منفی ندارد. منظورم این نیست که همه مردم قبول دارند که کیفیت زندگی در نتیجه‌ی این تغییرات بهتر شده است، خود من اغلب در چنین چیزی شک می‌کنم؛ و همچنین نمی‌خواهم این دیدگاه مورد توجه که با تولید انبوه، معیار استادکاری تنزل یافته را انکار کنم. ولی وقتی به وسیله نقلیه، فقط از نظر جابه‌جایی یعنی بردن مردم از یک جا به جای دیگر، نگاه کنیم، روشن است که روندی در حال پیشرفت است، حتی اگر پیشرفت فقط در سرعت آن باشد. به روشی مانند این، در مقیاس زمانی چند دهه یا حتی چند سال، پیشرفت مستمر در کیفیت بلندگوی وسایل صوتی غیرقابل انکار است، حتی اگر گاهی با من موافق باشید که اگر بلندگوها اصلاً اختراع نشده بودند، جهان جای بهتری بود. این‌طور نیست که سلیقه‌ی مردم عوض شده باشد، این یک واقعیت عینی و قابل اندازه‌گیری است که کیفیت تولید حالا بهتر از سال ۱۹۵۰ است و در سال ۱۹۵۰ از سال ۱۹۲۰ بهتر بود. بی‌شک در تلویزیون‌های امروزی کیفیت تصویر بهتر از سال‌های قبل است، گرچه ممکن است کیفیت سرگرمی‌هایی که برای مردم تهیه می‌کنند بهتر نباشد. روند تأسف‌آوری در پیشرفت کیفیت ابزارهای آدمکُشی در جنگ‌ها دیده می‌شود – هر سال که جلوتر می‌رویم آن دستگاه‌ها می‌توانند عده‌ی بیش‌تری را سریع‌تر بکُشند. این‌که مفهوم چنین چیزی پیشرفت نیست واضح‌تر از آن است که زحمت شرح آن را به خود بدهیم.

بدون تردید در آن مفهومِ حاشیه‌ای که از فناوری داریم، با گذشت زمان، هر چیز

بهتر می‌شود. اما این قضیه فقط در مورد چیزهای فنی سودمند، مانند هواپیما و کامپیوتر، صادق است. جنبه‌های بسیار دیگری در زندگی بشر وجود دارد که در آن‌ها می‌توان روندهای واقعی را، بدون این‌که مفهوم پیشرفت در آن‌ها باشد، مشاهده کرد. تکامل زبان‌ها، به‌طور آشکار، روندی را نشان می‌دهد. زبان‌ها منشعب می‌شوند و هرچه از زمان انشعاب دورتر شوند برای همدیگر غیرقابل فهم‌تر می‌شوند. یک کارگاه جالب برای بررسی تکامل زبان‌ها، جزایر متعدد اقیانوس آرام است. زبان جزایر مختلف شباهت آشکاری با یکدیگر دارند و تفاوت آن‌ها را می‌توان با دقت از روی تعداد کلماتی که بین آن‌ها متفاوت است اندازه گرفت، این معیار شباهت زیادی به معیارهای رده شناختی مولکولی دارد که در فصل ۱۰ مورد بحث قرار خواهیم داد. تفاوت بین زبان‌ها را، که با تعداد واژه‌های تغییر یافته سنجیده می‌شود، می‌توان روی یک نمودار در مقابل فاصله‌های بین جزیره‌ها، که با کیلومتر اندازه گرفته می‌شود، قرار داد، به این ترتیب معلوم می‌شود نقطه‌های روی گراف، منحنی‌هایی را می‌سازند که شکلِ دقیق آن‌ها از نظر ریاضی، به ما اطلاعاتی درباره‌ی سرعت و میزانِ پخش هر زبان در هر جزیره نسبت به جزایر دیگر می‌دهد. واژه‌ها با قایق سفر می‌کنند و متناسب با فاصله جزیره‌ها گاه‌گاهی از یک جزیره به جزیره دیگر می‌پرند. در درون هر جزیره، زبان با سرعت یکنواختی تغییر می‌کند، درست به همان صورتی که ژن‌ها گاه‌گاهی جهش می‌کنند. اگر جزیره‌ای ارتباطش با همه‌ی جاهای دیگر قطع شود، در آن‌جا گذشت زمان تغییر تکاملی زبان و همراه با آن انحرافی را که آن زبان نسبت به زبان‌های جزیره‌های دیگر داشته، به نمایش می‌گذارد. در جزیره‌هایی که به هم نزدیک‌اند جریان انتقال واژه‌ها سرعت بیش‌تری نسبت به جزیره‌های دور از هم دارد. زبان‌های جزیره‌های نزدیک به هم نسبت به جزیره‌هایی که کاملاً دور از هم قرار دارند جد مشترک نزدیک‌تری دارند. این پدیده، که الگوی چگونگی شباهت را بین جزیره‌های نزدیک به هم و جزیره‌های دور از هم نشان می‌دهد دقیقاً قابل قیاس با

داستان فنچ‌های جزیره‌های مختلف گالاپاگوس آرکی پلاگو[۱] است که الهام‌بخش *داروین* بودند. ژن‌ها، در بدن پرندگان، از جزیره‌ای به جزیره دیگر می‌پرند، درست همان‌طور که واژه‌ها با قایق از یک جزیره به جزیره دیگر می‌روند.

بنابراین زبان‌ها تکامل می‌یابند. گرچه انگلیسی امروز نسبت به انگلیسی زمان *چاوسر*[۲] تکامل یافته است، اما گمان نمی‌کنم مردم احساس کنند در زبان امروز نسبت به زمان *چاوسر* پیشرفتی پیدا شده باشد. هنگام صحبت از زبان، مفهوم پیشرفت یا چگونگی کیفیت مطرح نیست. درواقع، تا حدی این تغییرات به عنوان تنزل و فساد در زبان در نظر گرفته می‌شود. اغلب احساس می‌شود آن کاربرد قبلی درست بود، و این تغییرات نشانه‌ی تباهی زبان است. ولی در هر صورت، می‌توانیم روند تکامل مانندی را در آن ردیابی کنیم که از دیدگاه عینی و به دور از ارزش‌گذاری، پیشرفت محسوب می‌شود. حتی می‌توانیم در آن شواهدی از فیدبک مثبت را به صورت ترقی (یا تباهی، اگر با دید دیگری آن را در نظر بگیریم) در معانی ببینیم. برای مثال، ابتدا واژه‌ی star (ستاره) برای هنرپیشه‌ای که شهرت فوق‌العاده‌ای داشت به کار می‌رفت. بعد این کلمه تنزل پیدا کرد و برای هر هنرپیشه‌ای که نقش اصلی در فیلم داشت به کار رفت. دوباره لازم بود واژه‌ای برای هنرپیشه‌ای که شهرت استثنایی دارد ساخته شود، بنابراین آن کلمه ترقی کرد و به superstar تبدیل شد. بعد از مدتی کارکنان استودیوهای فیلمبرداری، واژه‌ی superstar را برای هنرپیشه‌هایی که بیش‌تر مردم اسم‌شان را نشنیده بودند به کار بردند، و آن کلمه یک بار دیگر ترقی کرد و megastar شد. این روزها، برای چند megastar، که دست‌کم من اسم‌شان را نشنیده‌ام، تبلیغ می‌کنند، فکر می‌کنم لازم باشد ما منتظر یک ترقی دیگر باشیم. آیا ممکن نیست کمی بعد صحبت از hyperstar باشد؟ فیدبک مثبت مشابهی باعث تنزل معنای chef (سرآشپز) شده است. این کلمه از اصطلاح

---

۱ Galapagos Archipelago

۲ Chaucerian English

فرانسوی *chef de cuisine* به معنای مسئول یا مدیر آشپزخانه، گرفته شده است. در فرهنگ لغت آکسفورد به این معنی آمده است. بنابراین، بر حسب معمول، هر آشپزخانه باید یک chef داشته باشد. ولی، آشپزهای (مذکر) معمولی، حتی آن همبرگر سرخ‌کُن‌های تازه‌کار، شاید برای ارضای غرورشان، یکدیگر را chef خطاب کنند. از این رو اکنون به جای آن عبارت حشودار head chef[۱] زیاد شنیده می‌شود.

اگر این قضیه قابل مقایسه با انتخاب جنسی باشد، بهتر است آن را فقط در ردیف آن‌چه فرضیه‌ی ضعیف نام گرفته قرار دهیم. حالا اجازه بدهید از طریق نزدیک‌ترین رویکردی که به ذهنم می‌رسد، وارد قیاس قوی شویم: دنیای صفحه‌های موسیقی پاپ. اگر شما به بحث‌های بین هواداران پروپاقرص صفحه‌های پاپ گوش دهید، یا از رادیو به گرداننده‌ی برنامه‌ی موسیقی[۲] روی موج Mid-atlantic گوش دهید، چیز عجیبی را کشف می‌کنید. در حالی‌که در نقدهای انواع دیگر هنر، پرداختن به سبک یا مهارت اجرا و توجه به حالت و تأثیر احساسی، و همچنین به ویژگی‌ها و کیفیت صورت هنر مورد سرزنش قرار می‌گیرد، خرده فرهنگ موسیقی پاپ تقریباً کاملاً درگیر محبوبیت خودش است. آشکارا در مورد یک صفحه‌ی موسیقی مهم‌ترین چیز این نیست که صدای آن چگونه است بلکه مهم‌ترین چیز این است که چند نفر آن را می‌خرند. همه‌ی افراد اهل آن خرده فرهنگ فکر و ذکرشان طبقه‌بندی صفحه‌ها، مثلاً ۲۰تای اول یا ۴۰ تای اول، بر مبنای ارقام فروش است. در مورد یک صفحه خیلی مهم است که در کجای آن لیست بیست‌تایی قرار داشته باشد. وقتی راجع به این موضوع فکر کنیم، می‌بینیم موضوع تعجب‌آوری است و موضوع خیلی جالبی است اگر به فرضیه‌ی تکامل کنترل نشدنی *آر. ای. فیشر* بیاندیشیم. شاید این هم جالب باشد که گردانندگان برنامه موسیقی به ندرت پیش می‌آید که از جایگاه یک صفحه در هفته گذشته اشاره کنند. این باعث می‌شود که

---

[۱] رئیس سرآشپز

[۲] Disk Jockeys

شنونده نه‌تنها محبوبیت صفحه بلکه میزان و جهت تغییر محبوبیت آن را هم بسنجد.

به نظر می‌رسد این واقعیت داشته باشد که علت خریدن یک صفحه برای اغلب مردم فقط این است که عده‌ی زیادی آن را خریده‌اند یا قصد دارند بخرند. شواهد حیرت‌آوری از این واقعیت به دست آمده که معلوم شده است شرکت‌های فروش صفحه، نمایندگانی به فروشگاه‌های کلیدی می‌فرستند تا تعداد بسیار زیادی از صفحه‌هایشان را بخرند و به این ترتیب آمار فروش را بالا ببرند تا به آن حد خاصی برسد که به اصطلاح «در بورس»[۱] قرار گیرد (این کار، آن‌قدر به نظر می‌رسد، مشکل نیست. زیرا مبنای انتخاب پرفروش‌ترین صفحه‌ها، ارقامی است که از چند صفحه فروشی خاص به عنوان نمونه گردآوری می‌شود. اگر بدانید آن فروشگاه‌های کلیدی کدامند، لازم نیست تعداد بسیار زیادی صفحه بخرید تا میزان فروش را در سطح ملی تحت تأثیر قرار دهید. در مورد رشوه دادن به فروشنده‌های این فروشگاه‌های کلیدی هم داستان‌های واقعی زیادی وجود دارد).

این پدیده‌ی محبوبیت، که از خودِ محبوبیت ناشی می‌شود، در حدی پایین‌تر در دنیای انتشار کتاب، مد خانم‌ها، و کلاً تبلیغات وجود دارد. یکی از بهترین چیزهایی که یک آگهی ممکن است درباره‌ی محصولی بگوید این است که در نوع خود پرفروش‌ترین است. ریز کتاب‌های پرفروش هر هفته منتشر می‌شود و مطمئناً وقتی نسخه‌های کتابی به اندازه کافی فروش رفت که نام آن در این ریز بیاید، آن وقت فروش آن کتاب با شدت بیش‌تری ادامه می‌یابد، فقط به دلیل پرفروش بودن ناشرها از «در بورس بودن» یک کتاب حرف می‌زنند و آن‌هایی که تا حدی اطلاعات علمی دارند از «تعداد فروش لازم برای در بورس بودن»[۲] صحبت می‌کنند. در یک قیاسِ دیگر از بمب اتم استفاده می‌کنیم. اورانیم-۲۳۵ تا وقتی مقدارش در یک جا زیاد نباشد، عنصر پایداری است. اما وقتی مقدار آن از حجمی که حجم بحرانی است

---

۱ Take off

۲ Critical mass for take off.

بگذرد، وارد یک سلسله واکنش‌ها یا فرایندهای کنترل نشدنی شده، نتایج ویرانگری به بار می‌آورد. بمب اتم شامل دو قطع اورانیم-۲۳۵ است که حجم هر کدام کمتر از حجم بحرانی است. وقتی‌که آن دو قطعه در کنار هم قرار گیرند و حجم‌شان از حد بحرانی بیش‌تر شود بمب منفجر شده و فاتحه یک شهرِ متوسط خوانده می‌شود. وقتی فروش کتابی به حد آن بحران می‌رسد، توصیه‌های زبانی و غیر باعث می‌شود میزان فروشش یک‌باره به صورت کنترل نشدنی خیز بردارد. میزان فروش، ناگهان به صورت وحشتناکی نسبت به قبل از رسیدن به آن حد فروش، بالا می‌رود و ممکن است پیش از این‌که ناگزیر متعادل شده و فروکش کند، دوره‌ای از فروش با رشد نمایی فزاینده‌ای را پشت سر بگذارد.

درک اصلِ زیربنای این پدیده چندان مشکل نیست. در اصل، این هم نمونه‌ای از فیدبک مثبت است. ویژگی‌های حقیقی یک کتاب یا یک صفحه‌ی موسیقی پاپ در مقدار فروش آن، خیلی بی‌تأثیر نیستند. با این حال، هر جا فیدبک مثبتی کمین کرده باشد، بدون بروبرگرد یک عامل قراردادی پُر زور در تعیین این‌که کدام صفحه یا کتاب بیش‌تر فروش برود و کدام عقب بماند، نقش دارد. اگر «در بورس بودن» و «حد بحران» در موفقیت نقش داشته باشد، به‌طور یقین برای آن‌هایی که این نظام را درک می‌کنند، شانس زیادی وجود دارد و می‌توانند با به دست گرفتن اوضاع، بهره‌برداری زیادی داشته باشند. به‌طور مثال ارزش دارد که پول زیادی بریزیم تا فروش یک کتاب یا صفحه را به «حد بحران» پیش ببریم تا «در بورس» قرار گیرد. بعد از آن دیگر لازم نیست برایش هزینه کنیم؛ فیدبک مثبت راه می‌افتد و برای شما کار تبلیغات را انجام می‌دهد.

فیدبک‌های مثبت در این‌جا با انتخاب جنسی از نظر فیشر/لند چیزهای مشترک زیادی دارند، اما تفاوت‌هایی هم وجود دارد. به طاووس‌های ماده‌ای، که نرهای دُم‌بلند را می‌پسندند، بیش‌تر ارجحیت داده می‌شود فقط به این دلیل که ماده‌های دیگر هم همین را می‌پسندند. خود آن ویژگیِ مورد پسندی که در نرهاست قراردادی و

بی‌ربط است. به این ترتیب، موسیقی دوستانی که صفحه‌ای را فقط به خاطر این‌که جزء بیست صفحه پرفروش است می‌خرند، رفتارشان درست مانند طاووس ماده است. اما راهکار فیدبک مثبت در این دو مورد با هم فرق دارد، و به تصور من، این ما را به آن‌جا می‌رساند که این فصل را با آن شروع کردیم، به این هشدار که در قیاس باید پیش رفت ولی نه خیلی دور.

فصل ۹

نگاهی دیگر به نقطه‌باوری

بر اساس سِفر خروج، مهاجرت بنی‌اسرائیل از صحرای سینا به سرزمین موعود چهار سال طول کشید. این فاصله حدود ۳۲۱/۸ کیلومتر است. بنابراین میانگین سرعت آن‌ها باید تقریباً روزی ۲۱/۸ متر یا ساعتی ۹۱ سانت بوده باشد که اگر توقف‌های شبانه را در نظر بگیریم ۲/۷ متر در ساعت می‌شود. هر طور محاسبه کنیم، سرعت بسیار کُندی است. از حرکت حلزون هم که به کندی معروف است، کندتر است (بر اساس کتاب رکوردهای گینس، حلزونی رکورد باورنکردنی ۵۰ متر در ساعت را دارد). البته کسی باور نمی‌کند که قوم بنی‌اسرائیل همیشه با این سرعت پیش می‌رفتند. آشکار است که حرکت آن‌ها نظم خاصی نداشت. شاید زمانی طولانی در جایی اتراق می‌کردند و بعد دوباره راه می‌افتادند. احتمالاً بسیاری از آن‌ها نمی‌دانستند که در کدام جهت در حرکتند، آن‌ها از یک آبادی به آبادی دیگر می‌رفتند و مانند چوپانان بیابان‌گرد دور خود می‌گشتند. تکرار می‌کنم واقعاً نمی‌توان باور کرد که آن‌ها همواره آن سرعت کُند را حفظ کرده باشند.

اما حالا فرض کنید دو تاریخ‌نگار جوان و خوش صحبت وارد صحنه شوند و به ما بگویند تا این‌جا سررشته‌ی تاریخ کتاب مقدس در دست طرفداران مکتب تدریج‌گرایی (Gradualism) بوده است. این دو تاریخ‌نگار به ما می‌گویند

تاریخ‌نگارهای تدریج‌گرا معتقدند که بنی‌اسرائیل روزی ۲۱/۸ متر حرکت می‌کردند؛ هر روز صبح چادرهای‌شان را جمع می‌کردند و در جهت شمال شرقی راه می‌افتادند و بعد از پیمودن ۲۱/۸ متر دوباره بساط‌شان را پهن می‌کردند. بنا به گفته ی آن دو جوان تنها مکتب دیگری که در مقابل تدریج‌گرایی وجود دارد، مکتب پویا و جدید نقطه‌باوری[۱] است. بر اساس نظر این جوانان تندروِ نقطه‌باور، قوم بنی‌اسرائیل بیش‌تر وقت خود را در سکون می‌گذراندند نه در حرکت. آن‌ها گاهی تا یک سال در چادرهای‌شان در یک جا می‌ماندند. بعد با سرعت نسبتاً زیاد راه می‌افتادند و به طرف اردوگاه جدید حرکت می‌کردند، به سوی جایی که دوباره چند سالی در آن ساکن می‌شدند. پیشروی آن‌ها به سوی سرزمین موعود، به جای این‌که آهسته و پیوسته باشد، سریع و پَرش مانند بود: دوره‌های طولانی سکونی بود که دوره‌های کوتاه مدت حرکت‌های سریع در آن وقفه ایجاد می‌کرد. علاوه بر این، حرکت سریع آن‌ها همیشه در جهت سرزمین موعود نبود، تقریباً تصادفی به طرف جلو می‌رفتند. اکنون که ما از ورای زمان به آن مهاجرت بزرگ نگاه می‌کنیم، جهت آن را رو به سرزمین موعود می‌بینیم.

این سخنانِ آن دو تاریخ‌نگارِ نقطه‌باور کتاب مقدس سر و صدای زیادی در رسانه‌ها ایجاد کرده است. تصویر آن‌ها زینت‌بخش مجله‌های خبری شده است. در تلویزیون، هیچ برنامه‌ی مستند تاریخی درباره‌ی کتاب مقدس نیست که در آن حداقل با یکی از این دو پیشگام نقطه‌باوری مصاحبه‌ای نشده باشد. کسانی که هیچ چیز از کتاب مقدس نمی‌دانند فقط یک چیز را فراموش نمی‌کنند و آن این است که در روزهای ظلمت، قبل از ورودِ این نقطه‌باوران به صحنه، همه در اشتباه بودند. توجه داشته باشید میزان محبوبیت نقطه‌باورها ربطی به درست بودن چیزی که

[۱] Punctuationism، نظریه‌ای که بر اساس آن تحول جانداران با سرعت یکنواختی صورت نمی‌گیرد بلکه ممکن است ناگهانی باشد به این ترتیب که بعد از یک دوره‌ی تغییر سریع، دوره‌های طولانی سکون وجود داشته باشد و بدین ترتیب سیر تغییر نقطه نقطه باشد.

می‌گویند ندارد، بلکه فقط مربوط به این است که صاحب‌نظران قبلی که تحول تدریجی را قبول داشتند، اشتباه می‌کردند. به این دلیل نقطه‌باورها مانند انقلابی‌های سودازده‌ای هستند که به خاطر این‌که مردم به حرف‌شان گوش می‌دهند مطرح‌اند نه به این خاطر که نظرشان صحیح است.

البته داستانی که درباره‌ی تاریخ‌نگارهای نقطه‌باور کتاب مقدس گفتم حقیقت ندارد، فقط تمثیلی است از تضاد عقاید در میان پژوهندگان زیست‌شناسی تکامل. از یک جنبه حکایت مغرضانه‌ای است ولی در کل آن‌قدرها از انصاف دور نیست و تا حدی در آن حقیقت وجود دارد که در ابتدای این فصلِ کتاب بیاید. یک مکتب فکری که بین پژوهندگان تکامل زیستی زیاد تبلیغ می‌شود مکتبی است که هوادارانش خود را نقطه‌باور می‌نامند و خود آن‌ها اصطلاح تدریج‌گرا را برای اکثر پیشینیان تأثیرگذار خود ساخته‌اند. آن‌ها در میان جمعیتی که تقریباً هیچ از تکامل سر در نمی‌آورد، محبوبیت زیادی کسب کرده‌اند. تا حدی دلیل‌اش این است که موضع آن‌ها را بیش از خودشان، گزارشگران دیگر شرح داده و آن را به صورت موضوعی کاملاً متفاوت با نظر تکامل‌گرایان قبلی، به ویژه *چالز داروین* جلوه داده‌اند. تا این‌جا قیاس من با کتاب مقدس عادلانه است.

این قیاس از این جنبه ناعادلانه است که در داستانِ این دو تاریخ‌نگارِ کتابِ مقدس، تدریج‌گراها موجوداتی واهی و ساخته و پرداخته‌ی نقطه‌باورها هستند، در حالی‌که معلوم نیست تکامل باورانِ تدریج‌گرا واقعاً ناموجود و موهومی باشند، باید چنین چیزی اثبات شود. می‌توان مفهوم گفته‌های داروین و بسیاری از تکامل‌گرایان دیگر را به تدریج‌گرایی تعبیر کرد ولی باید توجه داشته باشیم که واژه‌ی تدریج‌گرایی را می‌توان به صورت‌های گوناگون تعبیر کرد و در نتیجه برداشت‌های متفاوتی از آن داشت. البته بر اساس تفسیری که من از واژه‌ی تدریج‌گرا ارائه می‌کنم همه تدریج‌گرا هستند. برخلاف موردی که در تمثیل قوم بنی‌اسرائیل دیدیم، در قضیه‌ی تکامل یک کشمکش واقعی نهفته است. ولی موضوع این کشمکش در مورد جزئیات کم‌اهمیتی

است که اصلاً قابل آن همه جار و جنجال در رسانه‌ها نیست.

در میان تکامل‌باوران، «نقطه‌باورها» اساساً از طبقه‌ی دیرین‌شناسان جدا شده‌اند. دیرین‌شناسی مطالعه سنگواره‌ها و شاخه مهمی از زیست‌شناسی است. به این دلیل که اجداد تکاملی همه، مدت‌ها پیش از بین رفته‌اند و تنها سنگواره‌ها گواه وجود جانوران و گیاهان در آن زمان‌های دورند، اگر بخواهیم بدانیم که اجداد دور ما چگونه بوده‌اند، تنها راه، توسل به سنگواره‌هاست. بر اساس مکاتب فکری پیشین، آن‌ها آفریده‌ی شیطان یا استخوان‌های گناهکاران غرق شده در توفان نوح‌اند. به محض این‌که مردم متوجه ارزش فسیل‌ها شدند، لازم شد که نظریه‌ی تکامل به نحوی وجود آن‌ها را توجیه کند. ولی بحث بر سر این بوده که تصور ما از این فسیل‌ها چیست و موضوعِ بحثِ نقطه‌باورها هم تا حدی همین است.

بخت با ما یار بوده که این سنگواره‌ها را داشته‌ایم. باید از این بابت سپاسگزار باشیم که گاهی در زمین استخوان، صدف و دیگر بخش‌های سخت بدن جانوران، قبل از متلاشی شدن، نقشی باقی می‌گذارد که بعد مانند یک قالب شده و بر سنگی سخت خاطره‌ی آن جانور را جاویدان می‌کند. ما نمی‌دانیم چه میزانی از جانوران بعد از مرگ فسیل می‌شوند – خود من تبدیل شدن به یک فسیل را یک افتخار می‌دانم – اما بی‌شک برای تعداد بسیار کمی این اتفاق رخ می‌دهد. در هر صورت، آن میزانی از جاندران که به فسیل تبدیل می‌شوند، هر قدر هم که کم باشند، ولی حقایقی وجود دارد که تکامل‌گرایان باید در مورد فسیل آن‌ها را مسلم بدانند. برای مثال، یافتن فسیل یک انسان در جایی که مربوط به زمان قبل از پیدایش پستانداران است جای تعجب دارد! حتی پیدا شدن فقط یک جمجمه‌ی کاملاً تأیید شده در میان صخره‌های مربوط به پانصد میلیون سال پیش می‌تواند کل نظریه‌ی جدید ما را در مورد تکامل باطل اعلام کند. اتفاقاً همین قضیه می‌تواند پاسخِ به‌جایی برای گزارش‌های نادرست آفرینش‌باوران و دنباله‌روهای ژورنالیست آن‌ها باشد مبنی بر این‌که همه‌ی فرضیه تکامل تکرار مکررات غیرقابل بطلان است. از قضا به همین

دلیل است که آفرینش‌باوران به ردِ پای ساختگی بشر در بستر دایناسورها، در تکزاس، که در زمان رکود اقتصادی کنده شده بود تا توریست‌ها را سرگرم کنند، این‌قدر علاقه نشان می‌دهند.

در هر صورت، اگر ما فسیل‌های حقیقی را، از قدیمی‌ترین تا جدیدترین به ترتیب، کنار هم بچینیم، باید نوعی نظم از نظر تکامل در آن‌ها ببینیم، نه این‌که یک مجموعه در هم بر هم باشند. آن‌چه بیش‌تر به موضوع این فصل مربوط می‌شود، دیدگاه‌های مختلفی است که تکامل باوران از جمله تدریج‌گراها و نقطه‌باورها، نسبت به طرح‌واره‌ی فسیل‌ها دارند. اگر ما وسیله‌ای برای تعیین عمر فسیل داشته باشیم یا دست‌کم ترتیب زمانی تشکیل آن‌ها را بدانیم، می‌توانیم این نظرهای متفاوت را به بوته‌ی آزمایش بگذاریم. برای پرداختن به موضوع تعیین تاریخ فسیل‌ها و حل آن مسائل لازم است کمی از موضوع اصلی دور شویم، و این یکی از چند موردی است که خواننده باید با ما راه بیاید. این‌ها برای توضیح مطلب اصلی این فصل لازم است.

از مدت‌ها پیش می‌دانیم چگونه فسیل‌ها را به ترتیبی که تشکیل شده‌اند مرتب کنیم. روش کار در خود واژه‌ی «تشکیل شدن» نهفته است. طبیعی است که فسیل‌های جدید روی فسیل‌های قدیم‌تر قرار داشته باشند نه زیر آن‌ها و بنابراین در طبقات بالایی رسوبات زمین باشند. گاهی فشارهای درون زمین باعث می‌شود که بخشی از یک صخره جابه‌جا و واژگون شود، که البته در این صورت، ترتیب فسیل‌هایی که پیدا می‌کنیم برعکس است. ولی اگر به چنین مورد نادری بربخوریم، کاملاً قابل تشخیص است. گرچه وقتی در سنگ‌های یک محل شروع به کاوش کنیم به‌ندرت به بقایای تاریخی کاملی دست می‌یابیم ولی با کنار گذاشتن قطعه‌هایی که همپوشی دارند، و در مناطق مختلف یافت می‌شوند، می‌توانیم به نشانه‌های خوبی برسیم (گرچه من از واژه‌ی «کاوش» استفاده کرده‌ام ولی دیرین‌شناسان به‌ندرت به عمق لایه‌ها می‌روند، آن‌ها بیش‌تر فسیل‌هایی را پیدا می‌کنند که در عمق‌های

مختلف‌اند و بر اثر فرسایش در معرض دید واقع شده‌اند). دیرین‌شناسان مدت‌ها پیش از آن‌که بدانند چگونه قدمت چند میلیون ساله‌ی فسیل را تعیین کنند، نقشه‌هایی از مناطق مختلف زمین‌شناسی را تهیه کرده و به دقت می‌دانستند که ترتیب دوره‌های زمانی چگونه است و کدام بعد از دیگری است. بعضی صدف‌ها چنان معیار معتبری برای تعیین سن صخره‌اند که از شاخص‌های اصلی به شمار می‌روند و حفاران در میدان‌های مورد بررسی از آن‌ها به عنوان شاخص استفاده می‌کنند. اما آن صدف‌ها فقط سن نسبی لایه‌های سنگ را می‌توانند مشخص کنند نه سن واقعی آن‌ها را.

اخیراً، با پیشرفت در علم فیزیک، روش‌هایی برای محاسبه سن دقیق سنگ‌ها و فسیل‌های آن‌ها، بر حسب میلیون سال، پیدا شده است. این روش‌ها بر اساس این واقعیت هستند که عناصر رادیواکتیو به میزان کاملاً دقیق و مشخص متلاشی می‌شوند، به‌طوری‌که به نظر می‌رسد زمان‌سنج مینیاتوری دقیقی در آن سنگ کار گذاشته‌اند و هر زمان‌سنج کارش را از لحظه‌ای که در سنگ مدفون شده شروع می‌کند. تنها کاری که دیرین‌شناس باید انجام دهد این است که ساعت را بیرون بیاورد و از روی صفحه‌ی آن زمان را بخواند. انواع متفاوت کرونومترهایی که بر اساس متلاشی شدن مواد رادیواکتیو کار می‌کنند سرعت‌های متفاوتی دارند. زمان‌سنج‌هایی که با اشعه کربن کار می‌کنند، سرعت حرکت‌شان زیاد است طوری‌که بعد از چند هزار سال فنرشان تقریباً از کار می‌افتد و دیگر قابل اطمینان نیستند. این نوع ساعت‌ها برای تعیین عمر مواد آلی و در مقیاس‌های زمانی باستان‌شناسی/تاریخی که با چند صد یا چند هزار سال سروکار دارد، مناسب‌اند. ولی برای دوره زمان‌های تکاملی، که صحبت از میلیون‌ها سال است، مناسب نیستند.

برای مقیاس زمانی مربوط به تکامل انواع دیگری از زمان‌سنج، مثلاً از نوع پتاسیم-آرگون مناسب است؛ ساعت پتاسیم-آرگون آن‌قدر کُند است که به درد

مقیاس‌های زمانی باستان‌شناسی/تاریخی نمی‌خورد. مانند این است که از یک ساعت معمولی برای سنجش زمان دویدن یک قهرمان دو سرعت استفاده کنیم. برای اندازه‌گیری زمان فوق ماراتونی که همان تکامل است، چیزی مانند ساعت پتاسیم-آرگون مورد نیاز است. انواع دیگر ساعت‌های رادیواکتیو ساعت‌های روبیدیم-استرونتیم و اورانیم-توریم-سرب هستند که هر کدام سرعت کُندشوندگی ویژه خود را دارند. بنابراین، خلاصه‌ی این حاشیه رفتن این بود که اگر به یک دیرین‌شناس فسیلی بدهید، او بر اساس یک مقیاس میلیون ساله، معمولاً می‌داند آن جانور در چه زمانی زندگی می‌کرده است. حتماً فراموش نکرده‌اید ما ابتدا وارد این بحث تعیین زمان و سن شدیم چون می‌خواستیم بدانیم نظریه‌های متفاوت تکامل، از جمله تدریج‌گرایی و نقطه‌باوری، هر کدام چگونه توالی فسیل‌ها را تفسیر می‌کنند. اکنون به بحث درباره‌ی نظر آن‌ها می‌پردازیم.

اول فرض را بر این می‌گذاریم که طبیعت نسبت به دیرین‌شناسان بسیار لطف داشته (یا شاید نامهربان بوده، وقتی به حجم زیاد کار آن‌ها فکر می‌کنیم) و از هر جانوری که به وجود آمده فسیلی در اختیار آن‌ها قرار داده است. اگر به‌واقع یک چنین مجموعه کاملی، که به ترتیب زمانی هم کنار هم چیده شده باشد، در پیش روی ما باشد، ما به عنوان طرفدار تکامل، انتظار داریم در آن‌ها چه ببینیم؟ خوب، اگر تدریج‌گرا باشیم، با آن مفهومی که شکل ساده شده‌اش را در تمثیل قوم بنی‌اسرائیل دیدیم، باید امیدوار باشیم آن‌چه را در زیر می‌آید مشاهده کنیم: ترتیب زمانی فسیل‌ها همواره روند تکاملی ملایمی را با سرعت ثابت در تغییرات نشان دهند. به عبارت دیگر، اگر سه فسیل A و B و C داشته باشیم طوری‌که A از اجداد B و B از اجداد C باشد، باید انتظار داشته باشیم B از نظر شکل، چیزی بین A و C باشد. برای مثال، اگر A دارای طول پایی به اندازه‌ی ۵۱ سانت و C طول پایی به اندازه ۱۰۲ سانت باشد، طول پای B باید به تناسب فاصله‌ی زمانی که A از B دارد، چیزی بین آن‌ها باشد.

اگر ما ربط آن کاریکاتور تدریج‌گرایی (مهاجرت بنی‌اسرائیل) را با نتیجه منطقی آن در نظر بگیریم، درست همان‌طور که متوسط سرعت قوم بنی‌اسرائیل را ۲۱/۸ متر در روز محاسبه کردیم، می‌توانیم متوسط سرعت دراز شدن طول پا را در سیر تکاملی که از A شروع و به C ختم می‌شود به دست آوریم. مثلاً اگر A بیست میلیون سال پیش از C می‌زیست (ذکر یک نمونه مجسم این فرض را به واقعیت نزدیک می‌کند. اولین عضو شناخته شده از خانواده‌ای اسب، هیراکوتریم (Hyracotherium) بود که حدود ۵۰ میلیون سال پیش می‌زیست و جثه‌اش به اندازه‌ی یک سگ تریر (Terrier) بود)، ما یک رشد تکاملی ۵۱ سانتی در پا ظرف ۲۰ میلیون سال داریم، یا یک میلیونیم یک اینچ در هر سال. حالا باید بر اساس نظر آن تدریج‌گرای کارتونی، درازتر شدن پای این جانور طی گذشت نسل‌ها، به‌طور یکنواخت و با این سرعت بسیار کم صورت گرفته باشد. اگر طول زمان هر نسل اسب را ۴ سال در نظر بگیریم، میزان رشد در هر نسل چهار میلیونیم اینچ خواهد بود. بر این اساس انتظار داریم تدریج‌گرای ما بر این باور باشد که طی آن میلیون‌ها نسل پی‌درپی افرادی که هر کدام نسبت به متوسط نسل قبل، چهار میلیونیم اینچ به طول پای‌شان افزوده شده بود، نسبت به آن‌ها که اندازه‌ی پای‌شان متوسط بود برتری داشته‌اند؛ قبول این نظر مانند این است که باور داشته باشیم قوم بنی‌اسرائیل واقعاً روزی ۲۱/۸ متر در بیابان پیش می‌رفتند.

این قضیه در مورد یکی از سریع‌ترین تغییرات تکاملی شناخته شده نیز صادق است، تغییر برآمدگی جمجمه‌ی انسان از اجدادی مانند استرالوپی‌تکوس (Australopithecus)ها که مغزشان حدود ۵۰۰ سانتی‌متر مکعب حجم داشت تا انسان هوشمند امروزی که متوسط حجم مغزش ۱۴۰۰ سانتی‌متر مکعب است. این افزایش که حدود ۹۰۰ سانتی‌متر مکعب است و تقریباً معادل سه برابر شدن حجم مغز است، طی زمانی بیش‌تر از سه میلیون سال رخ داده است. بر اساس معیارهای تکامل، سرعت این تغییر زیاد است. به نظر می‌رسد مغز مانند یک بالون باد کرده

است و درواقع از بعضی زاویه‌ها، جمجمه انسان امروزی، در مقایسه با جمجمه‌ی تخت‌تر و پیشانی شیب‌دار استرالوپی‌تکوس‌ها بیش‌تر شکل گوی مانند و کروی بالون را دارد. اما اگر تعداد نسل‌ها را در این سه میلیون سال حساب کنیم (مثلاً ۴ نسل در هر قرن) متوسط سرعت تکامل کمتر از یک صدم سانتی‌متر مکعب در هر نسل می‌شود. از تدریج‌گرای کارتونی انتظار می‌رود این باور را داشته باشد که تغییر کُند و مداومی در هر نسل وجود دارد به‌طوری‌که در هر نسل مغز پسران کمی بیش از مغز پدران بوده است، به اندازه‌ی یک صدم سانتی‌متر مکعب. مسلماً آن یک صدم سانتی‌متر مکعب اضافی برای هر نسل جدید، از نظر بقا، امتیاز مهمی نسبت به نسل قبل محسوب می‌شده است.

اما در مقایسه با طیف مغز انسان امروزی، یک صدم سانتی‌متر مکعب مقدار بسیار ناچیزی است. اغلب به عنوان مثال از *آناتول فرانس* نویسنده‌ی فرانسوی یاد می‌کنند که انسانی عاقل و برنده‌ی جایزه‌ی نوبل بود ولی حجم مغزش کمتر از یک هزار سانتی‌متر مکعب بود. در حالی‌که در آن سوی این طیف، مغزهای دو هزار سانتی‌متر مکعبی هم ناشناخته نیستند. اغلب به عنوان نمونه از *الیورکرامول*[۱] یاد می‌کنند. گرچه من نمی‌دانم بر مبنای چه سندی این افزایش یک صدم سانتی‌متر مکعبی در هر نسل از دیدگاه تدریج‌گرای فرضی ما، از نظر بقا، امتیاز مهمی محسوب می‌شود، فقط یک صد هزارم تفاوت بین مغزهای آناتول فرانس و الیور کرامول است! جای خوشحالی است که چنین تدریج‌گرای مضحکی در جهان وجود واقعی ندارد.

خوب اگر این نوع تدریج‌گرای فرضی ناموجود است – آسیاب بادی تصورات نقطه‌باوران است[۲] – آیا نوع دیگری از تدریج‌گراها وجود دارند که واقعاً موجود

---

[۱] Oliver Cromwell، رهبر دینی و سیاستمدار دیکتاتور انگلیسی در قرن هفدهم. مترجم

[۲] به نظر می‌رسد به تصورات ذهنی *دن‌کیشوت* شخصیت داستان معروف *سروانتس* اشاره شده است. مترجم

باشند و عقاید قابل قبولی داشته باشند؟ من نشان می‌دهم که پاسخ این سؤال مثبت است و مراتب تدریج‌گرایی، در این مفهوم دوم، شامل همه‌ی تکامل‌گرایان آگاه می‌شود و در این بین، اگر عقایدشان را خوب بررسی کنیم، شامل همه‌ی آن‌ها که خود را نقطه‌باور می‌نامند نیز می‌شود. ولی باید دید چرا نقطه‌باورها فکر می‌کنند دیدگاه‌شان انقلابی و نوظهور است. نقطه‌ی شروع این بحث وجود خلأهای آشکار در مجموعه فسیل‌ها بود که اکنون باز به آن می‌پردازیم.

از *داروین* به بعد تکامل‌گرایان متوجه شده‌اند که اگر همه‌ی فسیل‌های موجود را به ترتیب زمان مرتب کنیم، این‌طور نیست که رشته‌ای از تغییرات بسیار تدریجی و به زحمت محسوسی را در آن‌ها مشاهده کنیم. البته در آن‌ها روند تغییر دیده می‌شود، پاها به تدریج درازتر می‌شوند، جمجمه‌ها باد کرده‌تر می‌شوند و مانند این‌ها، اما روند تغییر در بقایای فسیلی اغلب پرشی است نه ملایم و تدریجی. *داروین* و بیش‌تر پیروانش این را حمل بر ناقص بودن نشانه‌های فسیلی می‌کردند. نظر *داروین* این بود که اگر ما فقط تغییرات فسیلی موجود را به‌طور کامل می‌داشتیم، همان ثابت می‌کرد که این تغییرات تدریجی‌اند نه پرشی. اما به این دلیل که فسیل شدن به‌طور اتفاقی صورت می‌گیرد و یافتن فسیل‌ها از آن هم اتفاقی‌تر است، برای ما مثل فیلمی‌اند که بیش‌تر صحنه‌هایش گم شده باشد. یقیناً نوعی حرکت در فیلم فسیل‌های ما دیده می‌شود ولی این فیلم خیلی بیش‌تر از فیلم‌های *چارلی چاپلین* پرش دارد، زیرا حتی کهنه‌ترین و خدشه‌دارترین نسخه از فیلم *چارلی چاپلین* هم این‌طور نیست که نُه‌دهم تصاویرش را از دست داده باشد.

دیرین شناسان آمریکایی، *نایلز الدرج* و *استفان جی‌گولد*، وقتی اولین بار در سال ۱۹۷۲، نظریه تعادل نقطه‌ای[۱] خود را مطرح کردند، ظاهراً موضوع جدیدی به نظر می‌رسید. نظر آن‌ها این بود که مجموعه‌های فسیلی شاید آن‌قدر هم که ما تصور

[۱] Punctuated equilibria، «تعادل گسسته» را می‌توان به عنوان معادل دیگری برای این اصطلاح در نظر گرفت. مترجم

می‌کنیم ناقص نباشند. امکان دارد این خلأها، واقعیتی را که عملاً وجود دارد نشان می‌دهند، نه این برداشت آزاردهنده ولی اجتناب‌ناپذیر را که مجموعه فسیل‌ها ناقص است. آن‌ها اظهار داشتند که شاید در حقیقت روند تکامل به این صورت بوده که در برهه‌هایی به صورت فورانی و تند پیش می‌رفته و سپس سال‌ها به حال سکون باقی می‌مانده و طی آن هیچ تغییری در یک دودمانِ خاص صورت نمی‌گرفته است.

قبل از این‌که به فوران‌های تکاملی، از نظر آن‌ها بپردازیم، لازم است بگویم چند نوع فوران ناگهانی وجود دارد که باید کنار بگذاریم زیرا تا کنون باعث سوءتفاهم‌های زیادی شده‌اند. بی‌شک *الدرج* و *گولد* قبول دارند که بعضی از خلأها واقعاً به خاطر کامل نبودن مجموعه‌ی فسیل‌هاست و خلأهای بسیار بزرگ از این دست‌اند. مثلاً لایه‌ی سنگ‌های کامرین، این آثار ۶۰۰ میلیون ساله، کهن‌ترین جایی است که می‌توانیم در آن بیش‌ترِ گروه‌های اصلی مهره‌داران را بیابیم. و بسیاری از آن‌ها را در حالت پیشرفته‌ای از تکامل، در نخستین باری که ظاهر شده‌اند یافته‌ایم و به صورتی که گویی در آن‌جا کاشته شده‌اند و هیچ تغییر تکاملی در آن‌ها دیده نمی‌شود. لازم به تذکر نیست که این نقش‌ها که حاکی از حک شدن یک‌باره‌ی آن‌هاست به مذاق آفرینش‌باوران بسیار خوش آمده است. ولی تکامل‌گرایان، از هر رده‌ای، معتقدند که نشانه‌ی خلأ بزرگی در مجموعه فسیل‌هاست، خلأیی که فقط نشان می‌دهد، به دلایلی، از زمان‌های پیش از ۶۰۰ میلیون سال پیش، فسیل‌های بسیار کمی باقی مانده‌اند. شاید یک دلیل این باشد که بدنِ بسیاری از این جانوران فقط قسمت‌های نرم داشته و قسمت‌های سخت یا استخوانی نداشته که به فسیل تبدیل شود. اگر شخص، آفرینش‌باور باشد ممکن است آن را دلیل نهایی باور خود محسوب کند. در این‌جا منظورِ من این است که وقتی صحبت از خلأهایی با این بزرگی است، تعبیر تدریج‌گرایان و نقطه‌باوران، هر چه باشد، تفاوتی نمی‌کند. این هر دو مکتب فکری به‌طور یکسان در مقابل کسانی هستند که به اصطلاح دانشمندِ آفرینش‌باور محسوب می‌شوند و این هر دو گروه، بزرگی این خلأها را قبول دارند و

پذیرفته‌اند که آن‌ها واقعاً نقص در مجموعه فسیلی هستند. این دو مکتب فکری قبول دارند که تنها توضیح دیگری که برای به وجود آمدن ناگهانی این همه جانوران مختلف در عصر کامبرین وجود دارد، آفرینش آسمانی است ولی هر دو، این توضیح دیگر را رد می‌کنند.

یک نظر قابل قبولِ دیگر وجود دارد که بر اساس آن تکامل به صورت پرش‌های ناگهانی رخ می‌دهد، ولی با نظرهایی که *الدرج و گولد*، لااقل در بیش‌تر نوشته‌هایشان، مطرح کرده‌اند متفاوت است. می‌توان پذیرفت که بعضی از خلأهای آشکارِ مجموعه‌ی فسیل‌ها نشان دهنده تغییر ناگهانی در یک نسل است. می‌توان تصور کرد که آن تحولات بزرگ تکاملی طی تنها یک نسل رخ داده‌اند و واقعاً هیچ مرحله میانی اصلاً وجود نداشته است. ممکن است پسری خیلی متفاوت از پدرش زاده شود به‌طوری‌که اصلاً به گونه‌ی دیگری تعلق یابد. آن پسر یک فرد جهش‌یافته خواهد بود و آن جهش چنان بزرگ است که ما باید آن را کلان‌جهش‌[1] قلمداد کنیم. نظریه‌هایی از تکامل که بر اساس کلان‌جهش‌ها هستند نظریه‌های پرشی (saltation) نام گرفته‌اند، این واژه از لغت لاتینی saltus به معنی «پرش» گرفته شده است. از آن‌جا که نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای اغلب با پرش‌باوریِ (saltation) واقعی اشتباه گرفته می‌شود، لازم است در این‌جا پرش‌باوری را مورد بحث قرار داده و ببینیم چرا نمی‌تواند عامل مهمی در تکامل باشد.

کلان‌جهش‌ها – که اثر بزرگی دارند – بی‌شک رخ می‌دهند. آن‌چه اکنون مورد نظر است رخ دادن یا عدم رخ دادن آن‌ها نیست بلکه می‌خواهیم ببینیم آیا آن‌ها نقشی در تکامل دارند یا به عبارت دیگر آیا در خزانه‌ی ژنیِ یک گونه وارد می‌شوند یا برعکس، انتخاب طبیعی همیشه آن‌ها را کنار می‌گذارد. یک نمونه‌ی شناخته شده‌ی

---

[1] Macromutations

کلان‌جهش، شاخک‌پا[۱] در مگس میوه[۲] است. در یک حشره‌ی معمولی شاخک شباهت‌هایی به پا دارد و در حالت جنینی مثل پا رشد می‌کند، اما تفاوت آن با پا نیز چشمگیر است و این دو نوع عضو، برای اهداف کاملاً متفاوتی به کار می‌روند. پا برای راه رفتن، شاخک برای حس کردن، بوییدن و در غیر این‌صورت برای احساس کردن چیزها است. مگس‌های شاخک‌پا ناقص‌الخلقه‌هایی هستند که در آن‌ها شاخک درست مثل پا رشد می‌کند. یا می‌توان به این صورت گفت که آن‌ها مگس‌های بدون شاخک‌اند ولی از سوراخی که باید شاخک بیرون بیاید، یک جفت پای اضافی بیرون آمده است. این یک جهش واقعی است از این نظر که حاصل یک اشتباه در نسخه‌برداری از DNA است. اگر از مگس‌های شاخک‌پا در آزمایشگاه نگهداری کنند تا آن‌ها به حدی برسند که بتوانند تولید مثل کنند، این امر ثابت می‌شود. این جانوران در دنیای آزاد زیاد زنده نمی‌مانند زیرا حرکت‌شان ناپخته و حواس ضروری‌شان ناقص است. به این ترتیب کلان‌جهش‌ها رخ می‌دهند. اما آیا نقشی در تکامل دارند؟ آن‌ها که پرش‌باور (saltationist) نام گرفته‌اند معتقدند از طریق کلان‌جهش‌ها، پرش‌های بزرگِ تکاملی طی یک نسل صورت می‌گیرد. *ریچارد گلداشمیت*، که او را در فصل چهارم ملاقات کردیم، یک پرش‌باور واقعی بود. اگر چنین نظریه‌ای درست بود، لزومی نداشت خلأهای آشکار در مجموعه‌ی فسیل‌ها را اصلاً خلأ به حساب آوریم. برای مثال، یک پرش‌باور ممکن است باور داشته باشد که تبدیل پیشانی شیب‌دار اُسترالوپی‌تکوس به پیشانی برجسته‌ی انسان امروزی فقط با یک گام و طی یک کلان‌جهش در یک نسل رخ داده است. تفاوت بین این دو گونه، از نظر شکل، احتمالاً از تفاوت بین مگس میوه‌ی معمولی و مگس میوه‌ی شاخک پا کمتر است و بر اساس این اصول نظری می‌توان اولین انسان امروزی را بچه‌ی عجیب‌الخلقه‌ای دانست که از پدر و مادری که استرالوپی‌تکوس طبیعی بودند

---

۱ Antenna paedia

۲ Fruit flies

به وجود آمده است – بچه‌ای که احتمالاً مورد بی‌توجهی و آزار قرار می‌گرفته است.

برای رد تمام نظریه‌های تکاملی، که بر اساس چنین تغییرات ناگهانی‌اند، دلایل محکمی وجود دارد. یک دلیل تا حدی دلتنگ‌کننده این است که اگر در تنها یک گام جهشی گونه‌ی جدیدی پیدا شود، احتمالاً افراد آن گونه‌ی جدید در یافتن جفت به مشکل برمی‌خورند. اما من دو دلیل دیگر را ذکر می‌کنم که جالب‌تر و گفتنی‌تراند و قبلاً، در بحث این‌که چرا در سرزمین بیومورف‌ها جهش‌های بزرگ راه به جایی نمی‌برند، اشاره‌ای به آن داشته‌ام. اولین مورد را *آر. ای. فیشر*، زیست‌شناس و متخصص آمار، مطرح کرده است. ما در فصل‌های قبل او را در ارتباط با موضوع‌های دیگر دیدیم در همان زمانی که پرش‌باوری خیلی رایج‌تر از امروز بود، *فیشر* کاملاً با انواع صورت‌های پرش‌باوری مخالف بود. او قیاس زیر را به کار بُرد و گفت: میکروسکوپی را در نظر بگیرید که تقریباً تنظیم شده، البته نه دقیقاً. اکنون اگر برای این‌که تصویرِ دقیقی در آن مشاهده کنیم، تغییرات تصادفی در میکروسکوپ ایجاد کنیم، چقدر احتمال دارد که تمرکز و دقت کلی تصویر بیش‌تر شود؟ *فیشر* می‌گفت:

> کاملاً معلوم است که با یک تغییر بزرگ احتمال کمی وجود دارد تصویر بهتر شود، در حالی‌که اگر تغییراتی که ایجاد می‌کنیم، خیلی کوچک‌تر از آن تغییراتی باشد که سازنده یا استفاده کننده‌ی آن وسیله به‌طور دلبخواه و عمدی اعمال کرده است، احتمال بهتر شدن تصویر ۵۰ درصد است.

قبلاً خاطرنشان کردم چیزی که برای *فیشر* «دیدنش آسان است» ممکن است بر دوش ذهن دانشمندان معمولی بار سنگینی باشد، این قضیه در مورد چیزی که از نظر *فیشر* «کاملاً معلوم است» نیز صادق است. در هر صورت، تأمل بیش‌تر تقریباً همیشه نشان داده نظر او درست است. و در این مورد بدون زحمت زیاد می‌توانیم از گفته‌ی او برای اثبات نظرمان استفاده کنیم. یادمان باشد که فرض کردیم در ابتدای

کار، میکروسکوپ تقریباً تنظیم شده است، نه به صورت دقیق. فرض را بر این می‌گذاریم که عدسی از آن میزانی که تصویر کاملاً دقیق باشد کمی پایین‌تر است، مثلاً ۰/۲۵ سانت به اسلاید نزدیک‌تر است. حالا اگر ما آن را اتفاقی قدری، مثلاً ۰/۰۲۵ سانت، حرکت دهیم، احتمال بهتر شدن تصویر چقدر است؟ اگر آن تغییر تصادفی و ۰/۰۲۵ سانتی در جهت پایین باشد، تصویر بدتر می‌شود. اگر عدسی را ۰/۰۲۵ سانت بالا ببریم، تمرکز روی تصویر بهتر می‌شود. چون عدسی را به صورت تصادفی حرکت می‌دهیم، احتمال هر یک از این دو وضعیت پنجاه درصد است. نسبت به اِشکال اولیه‌ای که در تنظیم وجود دارد، هر چه میزان حرکت کمتر باشد، احتمال نزدیک‌تر شدن به وضعیت مطلوب و رسیدن به موقعیت پنجاه پنجاه بیش‌تر می‌شود: و قسمت دوم جمله‌ی *فیشر* را موجه‌تر نشان می‌دهد.

خوب حالا فرض کنید که لوله میکروسکوپ را باز در جهتی تصادفی به مقدار زیادی، به اندازه‌ی یک کلان‌جهش، حرکت می‌دهیم، مثلاً به اندازه‌ی ۲/۵۴ سانت. مهم نیست جهت این حرکت رو به بالا باشد یا پایین. در هر صورت تمرکز میکروسکوپ از آن‌چه که بود بدتر می‌شود. اگر به‌طور اتفاقی آن را پایین برده باشیم، حالا از وضعیت مطلوب به اندازه‌ی ۲/۵۴ سانت [به علاوه‌ی] ۰/۲۵ سانت دور شده است [و احتمالاً محکم به اسلاید خورده است]. اگر آن را اتفاقی بالا برده باشیم، حالا ۲/۵۲ سانت از وضعیت مورد نظر فاصله گرفته است. قبل از این حرکت‌ها، فقط یک ۰/۰۲۵ سانت با وضعیت مطلوب فاصله داشت، بنابراین این کلان‌جهش، در هر یک از دو جهت، حرکت مطلوبی نبوده است. ما میزان حرکت را در «کلان‌جهش» و «خُردجهش» محاسبه کردیم. بدیهی است که این محاسبه را در مورد یک رشته از حرکت‌های میانی هم می‌توانیم انجام دهیم ولی این کار فایده‌ی خاصی برای ما ندارد. فکر می‌کنم به اندازه‌ی کافی روشن است که هر چه حرکت ریزتر باشد، به وضعیت احتمال بهتر شدن ۵۰ درصد تصویر نزدیک‌تر می‌شویم و برعکس هر چه حرکت را بزرگ‌تر کنیم، به وضعیتی نزدیک می‌شویم که در آن احتمال موفقیت به صفر نزدیک

می‌شود.

خواننده دریافته است که این بحث بر مبنای این فرضِ اولیه است که قبل از این‌که بخواهیم میکروسکوپ را تصادفی تغییر دهیم تا کاملاً میزان شود، آن را تقریباً میزان کرده بودیم. اگر در ابتدا میکروسکوپ از وضعیت مطلوب ۵ سانت فاصله داشت، یک تغییر تصادفی ۲/۵۴ سانتی ممکن بود ۵۰ درصد وضع را بهتر کند، درست همان‌طور که یک تغییر تصادفی ۰/۰۲۵ سانتی وضع را می‌توانست بهتر کند. در این مورد به نظر می‌رسد «کلان‌جهش» این برتری را دارد که میکروسکوپ را خیلی سریع‌تر تنظیم می‌کند. البته استدلال فیشر در این‌جا به «فوق‌کلان‌جهش»[۱]ها، مثلاً حرکت‌های اتفاقی ۱۵ سانتی مربوط می‌شود.

چرا فیشر فرض اولیه را بر این نهاد که میکروسکوپ در ابتدا تقریباً میزان است؟ این فرض به خاطر نقش میکروسکوپ در این قیاس است. میکروسکوپ بعد از آن تنظیم تصادفی به جای جانور جهش‌یافته قرار می‌گیرد. میکروسکوپ پیش از آن تنظیم تصادفی جانشین پدر و مادر معمولی جهش‌نیافته‌ی آن جانورِ جهش‌یافته فرضی است و چون والد است باید آن اندازه عمر کرده باشد که به سن تولید مثل رسیده باشد، بنابراین نمی‌تواند با وضعیت مطلوب زیاد فاصله داشته باشد. به همین دلیل میکروسکوپ پیش از حرکت نباید از وضعیت مطلوب زیاد فاصله داشته باشد، زیرا در غیر این صورت، جانوری که در این قیاس به جای میکروسکوپ قرار گرفته اصلاً آن‌قدر عمر نمی‌کرد که تولید مثل کند. این فقط یک قیاس است و بحث بر سر این نیست که «فاصله» ۲/۵۴ سانت یا ۰/۲۵ سانت یا ۰/۰۰۲۵ سانت باشد. مهم این است که اگر ما جهش‌ها را همواره بزرگ‌شونده در نظر بگیریم، به آن‌جا می‌رسیم که هرچه جهش بزرگ‌تر باشد، احتمال مطلوب بودن اثر آن کمتر می‌شود ولی اگر اندازه‌ی جهش رو به کوچک شدن باشد، به آن‌جا می‌رسیم که احتمال موفقیت جهش ۵۰ درصد می‌شود.

---

۱ Megamutations

این بحث که آیا کلان‌جهش‌هایی مانند آن‌چه در مورد مگس شاخک پا رخ داده اصلاً فایده‌ای دارند (یا دست‌کم موجود را از آسیب حفظ می‌کنند) و بنابراین می‌توانند باعث تغییر تکاملی شوند به این مسئله برمی‌گردد که بزرگی اندازه‌ی آن کلان جهشی که در نظر گرفته‌ایم چقدر باشد. هرچه کلان‌تر باشد، احتمال بی‌فایده بودن آن بیش‌تر است و کمتر احتمال دارد که در تکاملِ یک گونه نقش داشته باشد. این واقعیت وجود دارد که همه‌ی جهش‌های مورد مطالعه در آزمایشگاه‌های ژنتیک – که در عمل کاملاً کلان هستند زیرا در غیر این صورت متخصصان ژنتیک اصلاً متوجه آن‌ها نمی‌شدند – برای آن جانور امتیار محسوب نمی‌شوند (از قضای روزگار، من به افرادی برخورده‌ام که این بحث را بحثی علیه داروینیسم به شمار می‌آورند). بنابراین بحث میکروسکوپِ فیشر دلیلی است که حداقل صورت افراطی پرش‌باوری را در فرضیه‌ی تکامل مورد تردید قرار می‌دهد.

دلیل کلی دیگر، برای عدم قبولِ پرش‌باوریِ واقعی نیز یک دلیل آماری است و توان آن بسته به این است که کلان‌جهش مورد نظر ما از نظر کمیت چه اندازه باشد. این مورد به پیچیدگی تغییرات تکاملی مربوط می‌شود. بسیاری از تغییرات تکاملیِ مورد نظر ما، البته نه همه‌ی آن‌ها، به شکل پیشروی در پیچیدگی طرح‌اند. مورد افراطی چشم، که در فصل‌های قبل درباره‌اش بحث شد، قضیه را روشن می‌کند. جانورانی که چشم‌شان مانند چشم ماست، صورت تکامل یافته‌ی اجدادی هستند که اصلاً چشم نداشتند. یک پرش‌باور افراطی ممکن است فرض را بر این بگذارد که تکامل چشم تنها در یک گام صورت گرفته است. از والدی که اصلاً چشم نداشته و در جای چشم او پوست صاف بوده است از چنین موجودی فرزندی غیرمعمولی به وجود آمده که چشم کامل داشته، چشمی که عدسی آن به شکل‌های گوناگون تطابق می‌یافته و دیافراگم عنبیه را برای تنگ کردن داشته و شبکیه آن دارای میلیون‌ها فتوسل‌های سه رنگ بوده است و همه‌ی این‌ها با عصب‌هایی که به صورت دقیقی با هم در مغز در ارتباط بوده‌اند در مجموع امکان دید رنگی، دو چشمی و سه بُعدی

مناسبی را برای آن جانور فراهم آورده‌اند.

در مدل بیومورف‌ها فرض بر این بود که این نوع پیشرفت‌های چندبُعدی نمی‌تواند رخ دهد. برای یادآوری این‌که چرا چنین فرضی معقول است باید در نظر داشت که ساختن چشم از هیچ فقط یک تغییر نیست بلکه برای چنین کاری تغییرات زیادی لازم است رخ دهد که هر کدام از آن‌ها تا حدِ زیادی نامحتمل‌اند البته نه غیرممکن. هر چه تعداد تغییراتی که باید صورت بگیرد بیش‌تر باشد، احتمال وقوع یک‌باره‌ی آن‌ها کمتر می‌شود. احتمال رخ دادن همه‌ی آن‌ها در یک زمان معادل یک پرش بزرگ در سرزمین بیومورف و به‌طور اتفاقی فرود آمدن در یک نقطه‌ای از پیش تعیین شده است. اگر بنا بر این باشد که تغییرات زیادی را لازم بدانیم، رخ دادن یک‌باره‌ی همه‌ی آن‌ها با هم به‌قدری نامحتمل می‌شود که می‌شود آن را غیرممکن دانست. این موضوع قبلاً مورد بحث قرار گرفته ولی خوب است در این‌جا تمایزی بین دو نوع کلان‌جهش فرضی قائل شویم که ظاهراً بحث پیچیده بودن هر دو را غیرمعقول می‌داند ولی درواقع فقط یکی از آن‌ها به علت پیچیدگی بحث کنار گذاشته می‌شود. به دلایلی که خواهید دید من یک نوع را کلان‌جهش بوئینگ ۷۴۷ و دیگری را کلان‌جهش *دی‌سی‌هشت*[۱] کشیده نامیده‌ام.

این بحثِ پیچیدگی که اکنون مطرح کردیم کلان‌جهش‌های از نوع بوئینگ ۷۴۷ را کنار می‌گذارد. این اسم را از روی کج‌فهمیِ فراموش نشدنیِ سِر *فرد هویل* ستاره‌شناس، در مورد نظریه انتخاب طبیعی ساخته‌اند. او انتخاب طبیعی را قیاس می‌کند با تندبادی که در انبار خرت و پرت‌ها می‌پیچد و به‌طور اتفاقی یک بوئینگ ۷۴۷ سر هم می‌کند. همان‌طور که در فصل اول دیدیم، اصلاً قیاس مناسبی نیست، ولی شاید برای نشان دادن این‌که بعضی از انواع کلان‌جهش‌ها باعث پیدا شدن تغییرات تکاملی می‌شوند بد نباشد. درواقع اشتباه اصلی *هویل* این بود که او تصور می‌کرد (بدون این‌که متوجه باشد) نظریه انتخاب طبیعی بر اساس کلان‌جهش‌ها

[۱] DC8 نام نوعی هواپیما است.

است. این تصور که از طریق یک کلان‌جهش در جایی که فقط پوست صاف بوده، چشمی کامل با اوصافی که در بالا گفتیم پیدا شود همان‌قدر نامحتمل است که تندباد بتواند یک بوئینگ ۷۴۷ سر هم کند. به همین دلیل من اسم این نوع کلان‌جهشِ فرضی را کلان‌جهش بوئینگ ۷۴۷ گذاشته‌ام.

کلان‌جهش‌های دی‌سی‌هشت کشیده گرچه تغییر زیادی را نشان می‌دهند، اما از نظر پیچیدگی چندان بزرگ نیستند. هواپیما DC8 را با تغییراتی به هواپیماهای *دی‌سی‌هشت کشیده* تبدیل کرده‌اند، هواپیمایی که همان DC8 است ولی بدنه‌ی کشیده‌تری دارد. این تغییر پیشرفت محسوب می‌شود. دست‌کم از این نظر که می‌تواند از هواپیمای DC8 مسافران بیش‌تری را حمل کند. این کشیدگی به معنی افزایش در طول هواپیماست و از این نظر می‌توان آن را قابل قیاس با کلان‌جهش دانست. جالب‌تر این است که این افزایش در طول، در نگاه اول چیز پیچیده‌ای به نظر می‌رسد. برای درازتر شدن طول هواپیما، فقط اتاق بدنه‌ی آن نیست که باید درازتر ساخته شود. مجراها و کانال‌های بیشماری باید درازتر شوند و کابل‌ها و سیم‌های برق و مسیرهای هوا تغییر می‌کند. باید صندلی، زیرسیگاری و چراغ‌های مطالعه بیش‌تری کار گذاشته شود. بنابراین *دی‌سی‌هشت کشیده* در نگاه اول، خیلی پیچیده‌تر از DC8 معمولی است ولی آیا واقعاً این‌طور است؟ پاسخ منفی است، زیرا قسمتی که به هواپیما افزوده می‌شود شبیه بخش‌های موجود در آن است. بیومورف‌های فصل سوم اغلب نمونه‌هایی از کلان‌جهش‌های از نوع *دی‌سی‌هشت کشیده*‌اند.

این بحث چه ربطی به جهش در جانوران واقعی دارد؟ پاسخ این است که بعضی از جهش‌های واقعی باعث تغییرات بزرگی مانند تبدیل DC8 به دی‌سی‌هشت کشیده می‌شوند و بعضی گرچه در یک معنا جهشی «کلان» محسوب می‌شوند دقیقاً در ایجاد تحول نقش دارند. برای مثال، همه‌ی مارها مهره‌های بیش‌تری از اجدادشان دارند. اگر فسیل هم نمی‌داشتیم از این امر مطمئن بودیم زیرا مارها از بعضی

خویشاوندان خود، که هنوز وجود دارند، مهره‌های بیش‌تری دارند. به علاوه، گونه‌های متفاوت مارها تعداد مهره‌های‌شان یکسان نیست و به این معنی است که مارها ضمن تکامل از یک جد مشترک تاکنون تعداد مهره‌های‌شان تغییر کرده است.

ولی برای تغییر تعداد مهره‌های یک جانور، کاری بیش از جا دادن یک مهره اضافی صورت می‌گیرد. در رابطه با هر مهره، تعدادی عصب، مجموعه‌ای از رگ‌های خونی و مجموعه‌ای از ماهیچه و چیزهای دیگر لازم است، درست همان‌طور که در هواپیما افزودن یک ردیف صندلی، افزودن تعدادی بالشتک، کوسن، و پریز برای گوشی و چراغ مطالعه و سیم‌کشی مربوط به آن‌ها را نیز لازم داشت. در بخش میانیِ بدنِ مار، مثل بخش میانی بدنه‌ی هواپیما، اجزاء متعددی وجود دارد. گرچه این اجزاء هر کدام به‌تنهایی بسیار پیچیده‌اند ولی بسیاری از آن‌ها شبیه یکدیگرند. بنابراین برای این‌که بخش جدیدی افزوده شود، تنها کاری که باید صورت گیرد، فرایند ساده‌ی دوباره‌سازی است. از آن‌جا که دستگاهِ ژنیِ لازم برای ساخت اجزاء مار از قبل وجود دارد – دستگاه‌های ژنی بسیار پیچیده‌ای که طی چندین نسل با تکامل تدریجی و گام‌به‌گام ساخته شده‌اند – تنها با یک مرحله جهش، بخش‌هایِ جدیدِ مشابه به آسانی افزوده می‌شود. اگر ژن را «دستورالعمل رشد جنین» بدانیم، ژنی که دستورالعمل ساختن یک بخش جدید را داشته باشد باید این‌طور خوانش شود «در این‌جا مقداری بیش‌تر از همان قبلی گذاشته شود.» تصور من این است که دستورالعمل ساخت اولین هواپیما *دی‌سی‌هشت کشیده* نیز چنین چیزی بود. بی‌شک در تکامل مارها، تعداد مهره‌ها به صورت یک عدد تغییر کرد نه به صورت کسری از یک عدد. نمی‌توان ماری را تصور کرد که ۲۶/۳ مهره داشته باشد. هر مار یا ۲۶ مهره دارد یا ۲۷تا و معلوم است در مواردی فرزند مار حداقل یک مهره بیش‌تر از والدینش داشته و این یعنی یک مجموعه کامل عصب، رگ‌های خونی، ماهیچه و غیره را بیش‌تر داشته است. بنابراین، در یک معنا، این مار دچار یک کلان‌جهش شده است. ولی فقط در آن معنای فرعی از کلان‌جهش که در *دی‌سی‌هشت کشیده*

دیدیم. به راحتی می‌توان پذیرفت که مارهایی باشند که با یک جهش، شش مهره بیش از والدین خود پیدا کنند. بحث پیچیدگی، در تقابل با تکاملِ یک‌باره، چیزی نیست که در مورد کلان‌جهشی از نوع کلان‌جهش *دی‌سی‌هشت کشیده* صادق باشد. زیرا اگر به جزئیات امر توجه کنیم، درمی‌یابیم این نوع تغییرات درواقع کلان‌جهش نیستند. فقط در یک نگاه سطحی به محصول پایانی یا موجودِ بالغ ممکن است کلان‌جهش به نظر بیایند، ولی اگر در فرایند رشد جنین مربوطه دقت کنیم، مشخص می‌شود درواقع «خُردجهش»[1] اند. به این مفهوم که فقط یک تغییر کوچک در دستورالعمل رشد جنین باعث چنین تغییر بزرگی در موجود بالغ شده است. در مورد مگس‌های میوه شاخک پا و بسیاری از جهش‌های دیگر که به «جهش‌های homeotic» موسومند نیز وضع چنین است.

به این ترتیب به پایان این حاشیه‌روی و پرداختن به کلان‌جهش و تکاملِ پرشی (saltatory evolution) رسیدیم. این بحث لازم بود زیرا اغلب نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای با تکامل پرشی اشتباه گرفته می‌شود، ولی درواقع حاشیه رفتن بود چون موضوع اصلی این فصل تعادل نقطه‌ای است و این نظریه درواقع ربطی به کلان‌جهش و پرش‌باوری ندارد.

بنابراین آن خلأیی که *الدرج* و *گولد* و دیگر نقطه‌باورها درباره‌اش صحبت می‌کنند به پرش‌باوری واقعی مربوط نیست و خیلی خیلی کوچک‌تر از آن خلأهایی است که آفرینش‌باوران را جلب کند. به علاوه *الدرج* و *گولد* در اصل، نظریه‌شان را نه به عنوان چیزی ضد داروینیسم مقبول – بلکه چیزی در ادامه آن سنت مورد قبول مطرح کردند. برای این‌که موضوع کاملاً روشن شود، با اجازه شما لازم است یک بار دیگر به حاشیه رفته و این سؤال را مطرح کنم که چگونه گونه‌های جدید، طی فرایندی که به «گونه‌زایی» (speciation) معروف است، پیدا می‌شوند؟

---

[1] Micromutations

در کل، پاسخ داروین به سؤال چگونگی پیدایش گونه‌ها این بود که آن‌ها از گونه‌های دیگر زاده می‌شوند. به علاوه، نمودار درخت زندگی مانند یک درخت شاخه‌شاخه شده است که با گرفتن رد چند شاخه می‌شود به یک نیای مشترک رسید. برای مثال، امروز شیر و ببر گونه‌های جداگانه‌ای هستند، ولی هر دو از یک جد مشترک، نه خیلی دور، پیدا شده‌اند. شاید آن گونه‌ی اجدادی به یکی از این دو گونه‌ی امروزی شبیه بود؛ یا امروز گونه‌ی سومی از این‌ها محسوب می‌شد؛ یا دیگر منقرض شده بود. به همین صورت حالا، انسان و شمپانزه گونه‌های کاملاً متفاوتی محسوب می‌شوند. در حالی‌که چند میلیون سال پیش، اجداد آن‌ها به یک گونه‌ی مشترک تعلق داشتند. گونه‌زایی فرایندی است که طی آن یک گونه به دو گونه تبدیل می‌شود و یکی از این دو گونه ممکن است کاملاً شبیه آن گونه‌ی اولیه باشد.

اکنون توضیح می‌دهم به چه دلیل گونه‌زایی مسئله بغرنجی محسوب می‌شود. همه‌ی عضوهای یک گونه که بعداً جد مشترک گونه‌های متفاوتی می‌شوند می‌توانند با یکدیگر بیامیزند. درواقع بیش‌تر منظور مردم از گونه منفرد (single species) همین است. بنابراین هر بار یک گونه‌ی جدید یا گونه‌ی دختر شروع به «جوانه زدن» می‌کند، در معرض این خطر است که در آمیزش با عضوهای دیگر همان گروه پژمرده شود. می‌توان تصور کرد که آن‌گونه که بعدها به جد مشترک شیر و ببر تبدیل شد زمانی نمی‌توانست به دو گونه تبدیل شود زیرا افراد آن مدام با یکدیگر جفت‌گیری می‌کردند و بنابراین زاده‌ها شبیه هم باقی می‌ماندند. مفهوم واژه «پژمرده» شدن را آن‌قدر جدی در نظر نگیرید که مثلاً اجداد شیر و ببر «قصد داشتند» از هم جدا شوند. درواقع گونه‌ها فقط طی تکامل از هم دور می‌شوند و در نگاه اول، آمیزش آن‌هاست که باعث می‌شود تصور جدا شدن گونه‌ها دور از ذهن جلوه کند.

بی‌شک این سؤال پاسخ تقریباً روشنی دارد. اگر اجداد شیر و اجداد ببر در جاهای متفاوتی بودند یعنی دور از هم بودند و نمی‌توانستند با هم جفت شوند، مسئله منتفی بود. البته آن‌ها به قصد این‌که جد شیر و جد ببر شوند از هم دور نشدند

و به قاره‌های مختلف نرفتند. آن‌ها اصلاً خودشان را جد مشترک شیر و ببر به حساب نمی‌آوردند! اما اگر فرض کنیم که آن گونه‌ای که نیای مشترک بود، به دلایلی، در قاره‌های مختلف مثلاً آسیا و آفریقا پراکنده شده باشد، آن‌هایی که به‌طور اتفاقی در آسیا بودند دیگر نمی‌توانستند با آن‌ها که در آفریقا بودند بیامیزند، زیرا دیگر برخوردی با هم نداشتند. اگر این گرایش در حیواناتِ هر یک از دو قاره وجود داشت که در جهات متفاوتی تکامل یافند، چه تحت فشار نیروی انتخاب طبیعی چه به‌طور اتفاقی، اکنون فرصت فراهم بود زیرا دیگر این‌طور نبود که آمیزش اعضا آن گونه با همدیگر، مانعی بر سر راه جدا شدن و در نهایت تبدیل شدن به یک گونه‌ی جداگانه‌ی دیگر باشد.

من از قاره‌های مختلف صحبت کردم تا موضوع روشن شود ولی عمل‌کرد اصلی جدایی جغرافیایی را به عنوان مانعی برای آمیزش، می‌توان در مورد جانورانی که در دو طرف یک بیابان یا در دو سوی یک رشته کوه یا دو طرف یک رودخانه یا یک بزرگ‌راه قرار دارند نیز مشاهده کرد. این اصل در مورد جانورانی که فقط بُعد مسافت مانع از جفت شدن آن‌ها با هم است نیز صادق است. جانور حشره‌خوار اسپانیایی نمی‌تواند با حشره‌خواری در مغولستان جفت‌گیری کند و اگر از دید تکاملی صحبت کنیم، گونه‌ی آن‌ها از یکدیگر فاصله می‌گیرد، حتی اگر رشته پیوسته‌ای از زادگان حشره‌خوار از اسپانیا تا مغولستان ادامه داشته باشد. در هر صورت، جدایی جغرافیایی را به این صورت می‌توانیم اصل کلیدی آشکاری برای گونه‌زایی در نظر بگیریم و آن را هر مانع فیزیکی واقعی، مثل رشته کوه یا دریا بدانیم که باعث جداافتادگی شود. درواقع، هر جا که یک سری جزایر کنار هم باشند، محل مستعدی است برای پیدایش گونه‌های جدید.

بنابراین ما یک تصویر نوداروینیسمی سنتگرا برای نشان دادن چگونگی جدا شدن و پیدایش گونه‌های جدید داریم. ابتدا گونه‌ی اجدادی را در نظر می‌گیریم که جمعیت نسبتاً یک‌دستی از جانوران است که با هم آمیزش می‌کنند و در منطقه‌ی

وسیعی از سطح زمین پراکنده‌اند. این جمعیت می‌تواند از هر نوع حیوانی باشد ولی ما فرض را بر این می‌گذاریم که جانورِ حشره‌خوارند. و سرزمین آن‌ها را یک رشته کوه به دو قسمت تقسیم کرده است. این رشته کوه سرزمینی خشن است و عبور از آن آسان نیست. با این حال، گاهی به ندرت یکی دو جانور حشره‌خوار در دامنه‌های آن سوی کوه دیده می‌شوند. آن‌ها در این‌جا شکوفا می‌شوند و جمعیت دور افتاده‌ای از آن گونه را شکل می‌دهند، جمعیتی که کاملاً از جمعیت اصلی بریده است. حالا هر طرف کوه، هر یک از دو جمعیت جدا از یکدیگر به تولید مثل ادامه می‌دهند و ژن‌های آن‌ها با هم مخلوط می‌شوند ولی ژن‌های دو طرف کوه با هم مخلوط نمی‌شوند. با گذشت زمان، هر تغییری که در ترکیب ژنی یک جمعیت روی دهد طی زاد و ولد در تمام آن جمعیت پراکنده می‌شود ولی از آن جمعیت خارج نمی‌شود که به جمعیت دیگر وارد شود. بعضی از این تغییرات ممکن است ناشی از انتخاب طبیعی و متفاوت بودن شرایط در دو طرف کوه باشد: بعید است که شرایط جوی، نوع جانوران غالب و انگل‌ها در دو سوی کوه کاملاً یکسان باشد. بعضی از تغییرات هم کاملاً اتفاقی‌اند. علت تغییرات ژنتیکی هر چه باشد، زادگان آن جمعیت‌ها باعث پخش آن تغییر در جمعیت خود می‌شوند ولی آن تغییرات به جمعیت دیگر سرایت نمی‌کند. به این ترتیب آن دو جمعیت از یکدیگر فاصله می‌گیرند و به تدریج شباهت خود را به یکدیگر از دست می‌دهند.

بعد از چندی، آن‌ها به‌قدری به یکدیگر بی‌شباهت می‌شوند که طبیعت‌شناسان آن‌ها را نژادهای متفاوت می‌دانند. بعد از مدت زمانی طولانی‌تر، آن‌قدر فاصله‌شان از هم زیاد شده است که ما آن‌ها را به عنوان گونه‌های متفاوت طبقه‌بندی می‌کنیم. حالا فرض کنید آب و هوا طوری تغییر کند و گرم‌تر شود که سفر از میان گذرگاه‌های کوهستانی آسان‌تر شود و بعضی از عضوهای گونه‌ی جدید کم‌کم به سرزمین اصلی برگردند. وقتی آن‌ها به عموزادگان دور خود برمی‌خورند، معلوم می‌شود آن‌قدر از نظر الگوی ژنی از آن‌ها فاصله گرفته و با آن‌ها فرق دارند که دیگر نمی‌توانند با آن‌ها

آمیزش کنند. اگر با آن‌ها جفت شوند، فرزندان ناسالم یا سترونی مانند استر به‌وجود می‌آید. می‌بینیم انتخاب طبیعی هیچ‌وقت میل شدید افراد هر یک از دو طرف برای آمیزش با نژاد یا گونه دیگر را بدون تلافی رها نمی‌کند. به این ترتیب، انتخاب طبیعی فرایند جدایی آمیزش را، که با دخالت رشته کوه آغاز شده بود، تکمیل می‌کند و «گونه‌زایی» صورت می‌گیرد. حالا ما در جایی که قبلاً یک گونه داشتیم، دو گونه داریم و این دو گونه در یک جا در کنار هم به زندگی ادامه می‌دهند بدون این‌که با یکدیگر آمیزشی داشته باشند.

در عمل احتمالاً زندگی این دو گونه در کنار هم زیاد طول نمی‌کشد، نه به این دلیل که با هم جفت‌گیری (میان زادگیری) می‌کنند بلکه به این دلیل که رقیب یکدیگرند. در بوم‌شناسی این اصل پذیرفته شده است که دو گونه که روش زندگی‌شان یکسان باشد نمی‌توانند مدت طولانی کنار هم زندگی کنند، چون با یکدیگر رقابت می‌کنند و یکی از آن‌ها سرانجام دیگری را از میدان به در می‌کند. البته ممکن است دو جمعیتِ حشره‌خوارِ ما، روش زندگی‌شان دیگر یکسان نباشد، مثلاً آن گونه‌ی جدید، ضمن تکامل‌اش در آن سوی کوه، مهارت خاصی در شکار حشره‌ای از نوع دیگر کسب کرده باشد. اما اگر رقابتِ قابل توجهی بین دو گونه برقرار باشد، بوم‌شناسان اغلب پیش‌بینی می‌کنند که یکی از آن دو گونه در آن سرزمینِ مشترک، رو به نابودی گذارد. اگر این‌طور باشد که گونه اولیه‌ی اجدادی رو به نابودی رود، می‌توانیم بگوییم که جایش را به گونه مهاجر جدید داده است.

مدت‌ها این نظریه که گونه‌زایی ناشی از جدایی جغرافیایی است، سنگ بنای اصلی داروینیسم سنتی بود و هنوز هم به عنوان فرایند اصلی شکل‌گیری گونه‌های جدید مورد پذیرش است (از نظر بعضی‌ها فرایندهای دیگری نیز وجود دارند). ورود این موضوع به داروینیسم امروزی بیش‌تر تحت تأثیر نظر جانورشناس برجسته، *ارنست مایر*، صورت گرفت. وقتی نقطه‌باوران برای نخستین بار نظریه خود را مطرح کردند، از خود این سؤال را پرسیدند: با فرض این‌که، مانند بیش‌تر دیگر

نوداروینیست‌ها این نظریه سنتی را قبول داشته باشیم و بپذیریم که پیدایش گونه‌های جدید با جدایی جغرافیایی آغاز می‌شود، فسیل‌ها به ما چه چیز را نشان می‌دهند؟

آن جمعیت فرضی حشره‌خواران را به یاد بیاورید که بعضی جدا شده و یک گونه‌ی جدید در آن طرف کوه تشکیل داده بودند و سرانجام با بازگشت خود به سرزمین اصلی و به احتمال زیاد باعث از بین رفتن حشره‌خوارهای اجداد خود شدند. فرض کنید از آن حشره‌خوارها فسیل‌هایی به جا مانده باشد و مجموعه فسیل‌ها کامل باشد و هیچ مرحله‌ی میانی گم شده هم وجود نداشته باشد که در آن خلأیی ایجاد کند. انتظار ما از این فسیل‌ها چیست؟ چه چیز را باید به ما نشان دهند؟ آیا انتظار داریم در آن‌ها تغییر ملایمی را از گونه اجدادی تا گونه دختر شاهد باشیم؟ یقیناً این‌طور نیست، دست‌کم اگر در سرزمین اصلی، در آن‌جا که حشره‌خوارهای اولیه می‌زیستند و بعد گونه‌های جدید به آن‌جا برگشتند، کَند و کاو کنیم، به چنین نتیجه‌ای نمی‌رسیم. به ماجرایی که بر سر آن سرزمین اولیه رفته است بیاندیشید. گروهی حشره‌خوار با خوشی و خرمی زندگی و زاد و ولد می‌کردند بدون این‌که علتی خاص وجود داشته باشد که بخواهند تغییر کنند. ولی پسرعموهای‌شان در آن طرف کوه، در حال تغییر و تحول بودند، و فسیل‌های‌شان در همان طرف کوه است و بنابراین کاوشگری که در سرزمین اصلی کار می‌کند به آن‌ها برنمی‌خورد. بعد یک‌باره (یک‌باره، با معیارهای زمین‌شناسی) گونه‌ی جدید برمی‌گردد و شروع به رقابت با گونه اصلی می‌کند و احتمالاً جای او را می‌گیرد. ناگهان همین‌طور که به لایه‌های بالاتر در سرزمین اصلی می‌رسیم، می‌بینیم فسیل‌ها تغییر کرده‌اند. همه‌ی فسیل‌های قبلی به گونه اجدادی تعلق داشتند. اکنون به‌طور ناگهانی و بدون هیچ تغییر تدریجیِ قابل مشاهده‌ای، فسیل‌های گونه‌ی جدید پیدا می‌شوند و دیگر از فسیل گونه‌ی قبلی خبری نیست.

برخلاف این نظر که خلأها نشان دهنده‌ی نقص‌های آزاردهنده یا باعث ایجاد نگرانی‌اند، اگر نظریه نوداروینی سنتی را دنبال کنیم، خلأها در این‌جا درست همان

چیزی هستند که باید، با دید مثبت، انتظارشان را داشته باشیم. دلیل این‌که تحول از گونه‌ی اجدادی به گونه‌ی جدید یک‌باره صورت گرفته این است که ما با نگاه کردن به رشته‌ای از فسیل‌های یک منطقه، شواهدی از یک رویدادِ مهاجرتی را مشاهده می‌کنیم. آمدن گونه جدید از یک منطقه‌ی جغرافیایی دیگر را می‌بینیم، نه رویدادهای تکاملی آن را. یقیناً رخدادهای تکاملی نیز وجود داشته‌اند و احتمالاً یک گونه به تدریج از گونه‌ی دیگری پیدا شده است. اما برای این‌که به سندی از این تحول دست یابیم، باید جای دیگری را جستجو کنیم – که در این مورد آن سوی کوه است.

بنابراین شاید نکته‌ای را که *الدرج و گولد* بیان کردند می‌توانست راه‌حل فروتنانه‌ی مسئله‌ای باشد که برای *داروین* و وارثان او مشکلی آزاردهنده بود. دست‌کم تا حدی قضیه به این موضوع مربوط می‌شود که این نظریه در ابتدا چگونه معرفی شده باشد. برای *داورین* و پیروانش همیشه مسئله خلأ بین فسیل‌ها، موضوع آزاردهنده‌ای بود و آن‌ها آن را با توسل به ناقص بودن شواهد توجیه می‌کردند. خود *داروین* چنین نوشته است:

> مجموعه نشانه‌های زمین‌شناسی بسیار ناقص است، تا حد زیادی به این علت که ما فسیل بعضی از انواع میانی را نداریم. انواعی که بتوانند همه صورت‌های منقرض شده و موجود جانداران زنده را به شکلی تدریجی و گام‌به‌گام به هم ربط دهند. کسی که این رویکرد نسبت به نشانه‌های زمین‌شناسی را قبول نداشته باشد، دقیقاً کل نظریه‌ی مرا رد کرده است.

پیام *الدرج و گولد* می‌توانست این باشد: *داورین* آسوده بخواب؛ حتی اگر مجموعه فسیل‌ها کامل هم بود، با کَند و کاو در یک محل نمی‌توانستی یک رشته ملایم از تغییرات گام‌به‌گام را ببینی زیرا بیش‌تر تغییرات در جای دیگری صورت گرفته بود. و می‌توانستند چنین ادامه دهند:

داروین، وقتی می‌گفتی که مجموعه فسیلی ناقص است، می‌دانستی چه می‌گویی. نه‌تنها این مجموعه ناقص است بلکه دلایل زیادی هم برای ناقص بودنش وجود دارد و این دلایل وقتی جالب‌تر می‌شود که با تغییرات تکاملی هم همراه باشند. تا اندازه‌ای علت این است که تغییرات تکاملی در جای دیگری رخ می‌دهند، نه در آن جایی که ما بیش‌تر فسیل‌ها را پیدا می‌کنیم و تا حدی به این دلیل که اگر ما آن‌قدر خوش اقبال باشیم که در یک محل کوچک دور افتاده در آن بیش‌تر تغییرات تکاملی رخ داده کَند و کاو کنیم، تغییرات تکاملی (گرچه همچنان تدریجی) در چنان زمان کوتاهی رخ می‌دهند که برای ردگیری نشانه‌ها باید به یک مجموعه فسیلی خیلی غنی دسترسی پیدا کنیم.

ولی آن‌ها به جای این کار، مخصوصاً در نوشته‌های اخیرشان که خیلی مورد توجه و پیگیری روزنامه‌نگاران بود، ترجیح دادند نظر خود را به عنوان عقایدی کاملاً مخالف *داروین* و ضدِ ترکیب نوداروینی به بازار عرضه کنند. به این منظور، تأکیدشان بر این بود که رویکرد آن‌ها به تکامل ناگهانی و یک‌باره و نقطه‌ای است و در مقابل رویکرد تکامل تدریج‌گرای داروینی قرار دارد. آن‌ها، به ویژه *گولد*، شباهت‌هایی بین نظر خود و مکتب‌های قدیمی «حادثه‌باوری» (catastrophism) و «پرش‌باوری» می‌دیدند. در مورد پرش‌باوری قبلاً صحبت کرده‌ایم. حادثه‌باوری تلاشی بود در قرن هجدهم و نوزدهم تا صورتی از آفرینش‌باوری را با واقعیت ناخوشایندی که در مجموعه فسیل‌ها مشاهده می‌شد، سازگاری دهد. حادثه‌باوران معتقد بودند استمرار ظاهری تغییرات فسیلی حاکی از یک رشته آفرینش‌های جداگانه‌ای است، که هر رشته با یک فاجعه انقراض جمعی به پایان رسیده است و آخرینِ آن فاجعه‌ها توفان نوح است.

قیاسی که در یک طرف آن نقطه‌باوری جدید است و در طرف دیگر حادثه‌باوری یا پرش‌باوری، کاملاً بازی با کلمات است. می‌شود آن را یک پارادوکس سطحی دانست. این اصطلاحات از نظر ادبی و کلامی ظاهراً افراد را تحت تأثیر قرار

می‌دهند ولی به درک اصل موضوع کمکی نمی‌کنند، فقط به ظاهر آفرینش‌باوران را در برخورد آزاردهنده‌ای که با آموزش و انتشارات کتاب‌های درسی دارند یاری می‌کنند. واقعیت این است که در حقیقت *الدرج و گولد* هم به اندازه‌ی *داروین* یا هر یک از پیروانش، تدریجی بودن تحولات را قبول دارند. این دو، همه‌ی آن تغییرات تدریجی را به جای آن‌که آهسته و پیوسته در نظر بگیرند، به صورت فوران‌های کوتاه مدت و فشرده در نظر می‌گیرند و تأکید می‌کنند که بیش‌ترِ آن تغییرات تدریجی در مناطق جغرافیایی دور از محلی که بیش‌تر فسیل‌ها یافت شده‌اند، رخ داده است.

به این ترتیب، آن چیزی که نقطه‌باوران مخالفش هستند، تدریج‌گرایی داروین نیست: تدریج‌گرایی یعنی هر نسل با نسل قبل از خود کمی تفاوت داشته باشد و فقط پرش‌باوران با این نظر مخالف‌اند، در حالی‌که *الدرج و گولد* پرش‌باور نیستند. در واقع، این دو نفر و دیگر کسانی که الگوی تحول نقطه‌ای را قبول دارند با این اعتقاد *داروین* که تکامل با سرعت یکنواختی پیش می‌رود مخالف‌اند. آن‌ها مخالف این نظرند زیرا تصور می‌کنند تکامل (که هنوز تدریجی بودنش غیرقابل انکار است) در برهه‌های نسبتاً کوتاهی فعال می‌شود (رویداد گونه‌زایی، رویدادی که با ایجاد بحرانی در وضعیت موجود باعث در هم شکستن مقاومت طبیعی یک گونه در برابر تغییرات تکاملی می‌شود) و به سرعت رخ می‌دهد؛ و همچنین تکامل در دوره‌های زمانی بین این فوران‌ها بسیار کُند یا تقریباً بی‌حرکت است، منظور از زمان‌های «نسبتاً» کوتاه، کوتاه نسبت به مقیاس زمین‌شناسی است. فوران‌های تکاملیِ نقطه‌باورها گرچه در مقیاس زمانیِ زمین‌شناسی ممکن است لحظه‌ای بیش نباشد، با این حال طول زمانی حدود ده‌ها یا صدها هزار سال را شامل می‌شود.

در این‌جا نظر دانشمند صاحب نام تکامل‌گرای آمریکایی، جی. *لدیارد استبینز*[۱] مطلب را روشن می‌کند. موضوعی که او رویش کار می‌کند تنها تکامل یک‌باره و پرشی نیست، او می‌خواهد تصویری از سرعت تغییرات تکاملی را در برابر

[۱] G. Ledyard Stebbins

مقیاس‌های زمانیِ زمین‌شناسی به تجسم درآورد. وی جانوری به اندازه‌ی یک موش را در نظر می‌گیرد بعد فرض می‌کند که انتخاب طبیعی آن را در جهت بزرگ شدن جثه‌اش پیش می‌برد، البته به صورت خیلی خیلی کُند. شاید جانوران نری که درشت‌تر باشند در رقابت با ماده‌ها از امتیاز بیش‌تری برخوردار باشند. همواره نرهایی که جثه‌شان کمی از میانگین جثه بیش‌تر است موفق‌تر از نرهای با جثه متوسط‌اند. *استیبنز* به آن برتری موجودات درشت‌ترِ نمونه‌ی فرضی خود یک نمره دقیق عددی می‌دهد. او آن‌قدر آن را ریز تنظیم می‌کند که توسط انسان مشاهده‌گر قابل اندازه‌گیری نیست. در نتیجه سرعت تکاملی ناشی از آن آن‌قدر کند است که در طول عمر یک انسان معمولی قابل ملاحظه نیست. طوری‌که دانشمندی که روی زمین زندگی می‌کند تکامل آن موجودات را حس نمی‌کند و از نظر او آن جانوران اصلاً در حال تحول نیستند ولی آن‌ها در حال تغییرند و با سرعت بسیار پایینی بر اساس محاسبات فرضی تغییر می‌کنند و حتی با این سرعت پایین سرانجام به اندازه‌ی یک فیل می‌شوند. این تغییر چقدر طول می‌کشد؟ البته با معیار بشری، زمانی بسیار طولانی لازم است ولی در این‌جا معیارهای بشری بی‌ربط‌اند. صحبت از زمان‌های زمین‌شناسی است. *استیبنز* به این نتیجه می‌رسد که با آن سرعت کمی که فرض کرده، باید ۱۲۰۰۰ نسل از آن جانور بگذرد تا وزن متوسط آن‌که ۴۰ گرم است (وزن موش) به وزن بیش از ۶,۰۰۰,۰۰۰ گرم (وزن فیل) تبدیل شود. اگر زمان هر نسل را ۵ سال در نظر بگیریم، که بیش از عمر موش و کمتر از عمر فیل است، ۱۲,۰۰۰ نسل طی ۶۰,۰۰۰ سال خواهند آمد. از نظر زمین‌شناسی ۶۰,۰۰۰ سال زمان کمی است و کوتاه‌تر از آن است که با روش‌های معمول، که در زمین‌شناسی برای سنجیدن قدمت فسیل‌ها به کار می‌رود، سنجیده شود. بنا به گفته‌ی *استبینز* «از منظر دیرین‌شناسان، پیدایش یک گونه‌ی جدید جانوری در ۱۰۰,۰۰۰ سال یا کمتر، "ناگهانی" یا "لحظه‌ای" محسوب می‌شود.»

موضوع مورد بحث نقطه‌باورها، پرش در تکامل نیست، آن‌ها درباره‌ی برهه‌های

نسبتاً سریع تکامل صحبت می‌کنند. و لزومی ندارد این برهه‌ها با معیارهای بشری زیاد سریع باشند تا با استانداردهای زمین‌شناسی، آنی محسوب شوند. خود نظریه تعادل نقطه‌ای را هر چه در نظر بگیریم، این امکان وجود دارد که تدریج‌گرایی (این باورِ مورد قبول نقطه‌باورهای جدید و همچنین *داروین* است که هیچ جهش ناگهانی بین دو نسل متوالی وجود ندارد) و «باور به سرعت یکنواخت تکامل»[۱] (نظری که *داروین* آن را قبول داشت و نقطه‌باوران ادعای مخالفت با آن را داشتند ولی در عمل این‌طور نبودند) به راحتی با هم اشتباه گرفته شوند. این دو، چیزهای متفاوتی هستند. نظر طرفداران تحول نقطه‌ای جانوران را درواقع می‌توان چنین مشخص کرد: به تدریج ولی همراه با دوره‌های طولانی سکون (رکود تکامل) که بین برهه‌های کوتاهِ تغییرات تدریجی سریع وجود دارند. به این ترتیب تأکید روی دوره‌های طولانی سکون است به عنوان پدیده‌ای که قبلاً به آن توجه نشده است و اکنون نیاز به توضیح دارد. این تکیه بر حالت رکود است که بیش‌تر مورد نظر نقطه‌باورهاست نه ادعای آن‌ها در مخالفت با تدریج‌گرایی، زیرا خود آن‌ها مانند هر کس دیگر تدریج‌گرایند.

حتی در نظریه‌ای درباره‌ی گونه‌زایی، *مایر* به شکل ساده‌تری، بر دوره‌های سکون تکیه کرده است. او معتقد است از دو نژادی که از نظر جغرافیایی از هم جدا می‌افتند، احتمالاً آن جمعیت اصلی اجدادی دچار تغییرات کمتری نسبت به آن جمعیت جدید دختر (در مورد جانور حشره‌خوار ما، جانوران آن سوی کوه) می‌شود. علت فقط آن نیست که جانورانی که به سرزمین‌های جدید کوچیده‌اند در آن‌جا احتمالاً با شرایط متفاوتی مواجه‌اند و انتخاب طبیعی به گونه‌ای دیگر عمل می‌کند. این قضیه دلایل نظری دیگری دارد (که مایر بر آن‌ها تأکید می‌ورزید ولی می‌توان منکر اهمیت آن‌ها شد) مبنی بر این‌که جمعیت‌های پُر زاد و ولد ذاتاً در مقابل تغییرات ژنتیکی بیش‌تر مقاومت می‌کنند. می‌توان این وضع را با اینرسی یک شیئی بزرگ مقایسه کرد که حرکت دادنش آسان نیست. بر اساس این نظریه، جمعیت‌های

---

۱ Constant evolutionary speedism

کوچک جدا افتاده، به دلیل کوچک بودن، ذاتاً بیش‌تر در مرض تغییر و تحول‌اند. من از جمعیت‌های دو نژاد جانور حشره‌خوار صحبت کردم که از یکدیگر فاصله گرفته‌اند ولی *ارنست مایر*، آن جمعیت اجدادی اولیه را نسبتاً پایدار در نظر می‌گیرد و جمعیت جدید را فاصله گرفته و جدا شده از آن در نظر می‌آورد. شاخه‌ی درخت تکامل این‌طور نیست که به دو شاخه‌ی کوچک‌ترِ کاملاً مساوی تقسیم شود، بلکه یک شاخه اصلی وجود دارد و یک شاخه کوچک از آن بیرون می‌آید.

طرفداران تعادل نقطه‌ای این نظر *مایر* را گرفتند و آن را بزرگ جلوه دادند و این باور را ایجاد کردند که دوره سکون یا نبود تغییر تکاملی وضعیت معمول برای هر گونه است. آن‌ها معتقدند که در یک جمعیت بزرگ، نیروهای ژنی فعالانه در مقابل تغییرات تکاملی مقاومت می‌کنند. برای آن‌ها تغییرات ژنی رخداد نادری است که همگام با گونه‌زایی جدید رخ می‌دهد. از نظر آن‌ها همگامی آن با پیدایش گونه‌ی جدید به این معنی است که شرایطی که در آن، گونه‌ی جدید شکل می‌گیرد – جدایی جغرافیای اقلیت‌های کوچک جدا افتاده – درست همان شرایطی است که در آن نیروهایی که به‌طور معمول در مقابل تغییرات تکاملی مقاوت می‌کنند، خود را رها کرده یا مغلوب می‌شوند. شکل‌گیری گونه‌ی جدید، زمانِ یک فوران یا دگرگونی است. و تغییرات کاملی در چنین فوران‌ها به صورت فشرده وجود دارند. در مقابل، در بیش‌تر تاریخچه یک دودمان حالت سکون وجود دارد.

این‌که *داروین* معتقد بود پیشروی تکامل سرعت ثابتی دارد صحت ندارد. تردیدی نیست که او آن را به آن صورت خنده‌داری که من در تمثیل فرزندان بنی‌اسرائیل آورده‌ام قبول نداشت و فکر نمی‌کنم اصلاً به این موضوع اهمیت می‌داد. این نقل‌قول معروف از چاپ چهارم (و چاپ‌های بعدی) کتاب *اصل انواع برای گولد* خوشایند نیست، زیرا از نظر او گویای نظر کلی *داروین* نیست:

بسیاری از گونه‌ها بعد از شکل‌گیری دیگر تن به تغییر نمی‌دهند... و دوره‌ای که طی

آن گونه‌ای تغییرهایی را پذیرفته است گرچه با مقیاس سال طولانی است ولی در مقایسه با طول زمانی که آن گونه شکل گرفته است، احتمالاً کوتاه است.

گولد تمایل دارد این جمله و جمله‌های نظیر آن را نادیده گیرد و بگوید:

نمی‌توان با نقل‌قول‌های انتخابی تاریخچه ساخت و در پی یافتن پانوشت‌هایی آن را تأیید کرد. گرایش کلی و تأثیرات تاریخی معیارهای واقعی‌اند. آیا هرگز معاصران یا وارثان *داروین* از او به عنوان یک پرش‌باور (saltationist) یاد کرده‌اند؟

البته در مورد گرایش کلی و تأثیر تاریخی حق با *گولد* است ولی در جمله‌ی آخرِ این گفته‌ی از قولِ او خطای آشکاری نهفته است. هیچ‌کس تا کنون *داروین* را پرش‌باور نخوانده است و *داروین* همیشه مخالف پرش‌باوری بود ولی اصل مطلب این است که هنگام صحبت درباره‌ی تعادل نقطه‌ای به پرش‌باوری کاری نداریم. همان‌طور که قبلاً تأکید کرده‌ام، نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای، بنا به تعبیر *الدرج* و خود *گولد*، یک نظریه پرش‌باوری نیست. پرش‌هایی که او مسلم فرض می‌کند پرش‌های واقعی طی یک نسل نیستند. آن‌ها، به تخمین خود *گولد*، در طول نسل‌های متوالی زیادی، شاید ده‌ها هزار سال، گسترده‌اند. نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای یک نظریه‌ی تدریج‌گرا است، اما تأکید آن بیش‌تر بر دوره‌های طولانی رکود بین فوران‌های نسبتاً کوتاهِ تکاملِ تدریجی است. *گولد* با تأکید کلامی خود بر شباهت واژگانی یا ادبی بین نقطه‌باوری و پرش‌باوری خود را نیز گمراه کرده است.

تصور من بر این است که اگر خلاصه‌ای از یک سلسله از دیدگاه‌ها درباره‌ی سرعت تکامل را بیان کنم، به روشنی مطلب کمک کرده‌ام. ما در یک طرف پرش‌باوری واقعی را داریم که به اندازه‌ی کافی قبلاً درباره‌ش صحبت کرده‌ایم. در میان زیست‌شناسان امروز کسی پرش‌باور واقعی نیست. هرکس که پرش‌باور نباشد، تدریج‌گراست و این شامل *الدرج* و *گولد* هم می‌شود، گرچه آن‌ها ممکن است خود را

طور دیگری توصیف کنند. در میان تدریج‌گرایان ممکن است به عقاید متفاوتی در مورد سرعت (تدریجی) تکامل بربخوریم. همان‌طور که دیدیم، بعضی از این باورها فقط در ظاهر شباهت (ادبی یا کلامی) با پرش‌باوری ضدتدریج‌گرا دارند و به همین دلیل گاه با آن اشتباه گرفته می‌شوند.

در انتهای دیگر این طیف نوعی طرفدار سرعت ثابت (constant speedism) داریم که من صورت کارتونی آن را در تمثیل فرزندان بنی‌اسرائیل، در شروع این فصل، به تصویر کشیده‌ام. در باور کسی که به صورت افراطی از طرفداران سرعت ثابت در تکامل است، تکامل همواره با سرعتی یکنواخت و بدون وقفه پیش می‌رود. وی مقدار تغییر تکاملی را متناسب با زمان طی شده می‌داند. اتفاقاً در بین متخصصان ژنتیک مولکولی اخیراً نوعی طرفداری از سرعت ثابت مورد توجه قرار گرفته است. مورد مناسبی است برای قبولاندن این‌که تغییر تکاملی در سطح مولکول‌های پروتئینی واقعاً با سرعت ثابتی، درست مانند قوم بنی‌اسرائیل فرضی من، پیش می‌رود و حتی می‌توان آن را به ویژگی‌های قابل مشاهده‌ای مثل دست و پای در حال تکامل نیز تسری داد. ما قبلاً در فصل ۵ به این موضوع پرداختیم و من دوباره در فصل بعد اشاره‌ای به آن خواهم داشت. اما تا آن‌جا که به تکامل سازشی در ساختارهای بزرگ مقیاس و الگوی رفتاری مربوط می‌شود، همه تکامل‌گرایان طرفداری از سرعت ثابت را رد می‌کنند، *داروین* هم یقیناً آن را قبول نداشت. هر کس که سرعت ثابت را قبول نداشته باشد «سرعت متغییر» را قبول دارد.

در میان آن‌ها که متغیر بودن سرعت را می‌پذیرند ممکن است به دو نوع باور بر بخوریم با برچسب‌های «طرفدار سرعت متغیر گسسته»[۱] و «طرفدار سرعت متغیر پیوسته»[۲]. یک طرفدار سرعت متغیر گسسته افراطی نه‌تنها متغیر بودن سرعت تکامل را قبول دارد بلکه معتقد است سرعت تکامل از یک حد مشخص به سطح

۱ Discrete variable speedism

۲ Continuously variable speedism

دیگری می‌پرد، مثل جعبه دنده‌ی اتومبیل. مثلاً ممکن است در باور او فقط دو نوع سرعت در تکامل وجود داشته باشد: سرعت بسیار زیاد و توقف (در این‌جا بی‌اختیار به یاد اولین گزارشی می‌افتم که مدیر داخلی مدرسه شبانه‌روزی ما درباره‌ی جمع و جور کردن لباس‌ها، گرفتن دوش آب سرد و دیگر برنامه‌های من به عنوان یک پسر بچه هفت ساله نوشته بود: «داوکینز فقط سه جور سرعت دارد: کُند، خیلی کُند، توقف»). توقفِ تکامل همان دوره‌ی سکونی است که نقطه‌باوران آن را ویژگی‌های جمعیت‌های بزرگ می‌دانند. تکامل با دنده‌ی سنگین، تکاملی است که ضمن گونه‌زایی، در جمعیت‌های جداافتاده‌ای که در حاشیه‌ی جمعیت‌های بزرگی که از نظر تکاملی در رکود هستند صورت می‌گیرد. بر اساس این دیدگاه، ماشین تکامل همیشه در یکی از این دو دنده است و هرگز بین این دو نیست. *الدرج* و *گولد* به این نوع تغییر گسسته تکامل گرایش دارند و از این نظر واقعاً تندرو هستند. ولی دلیل خاصی وجود ندارد که سرعت متغیر گسسته لزوماً روی همزمانی دنده سنگین تکامل با شکل‌گیری گونه جدید تأکید داشته باشد. گرچه در عمل، اکثراً این‌طور فکر می‌کنند.

از سوی دیگر، آن‌ها که طرفداری از سرعت متغیر پیوسته را می‌پذیرند، بر این باورند که سرعت تکامل بین زیاد تا خیلی کم به‌طور پیوسته‌ای بالا و پایین می‌شود و همه‌ی مراحل میانی را می‌پذیرد. آن‌ها دلیل خاصی برای تأکید روی یک سرعت معین نسبت به اندازه‌های دیگر سرعت ندارند. به ویژه حالت سکون، برای آن‌ها، فقط موردی افراطی از تکامل فوق‌العاده کُند است. از نظر یک نقطه‌باور دوره‌ی سکون وضعیت بسیار خاصی دارد. برای او حالت سکون فقط یک دوره‌ی بسیار کُند با میزان سرعتی حدود صفر یا عدم تغییر تکاملی به خاطر نبودن نیرویی در جهت تغییر نیست. بلکه دوره‌ی سکون نشان دهنده‌ی مقاومت مثبتی در مقابل تغییرات تکاملی است. تقریباً این‌طور به نظر می‌رسد که گونه‌ها با گام‌های حساب شده‌ای، علیرغم نیرویی که آن‌ها را در جهت تکامل می‌راند، سعی می‌کنند تغییر نکنند.

اکثر زیست‌شناسان در این‌که دوره‌ی سکون یک پدیده‌ی واقعی است اتفاق نظر دارند، جدا از دلایلی که برای آن پدیده در نظر می‌گیرند. به عنوان یک نمونه‌ی افراطی سلاکانت[1] *لاتی‌مریا* (*Latimeria*) را در نظر بگیرید. ماهیان سلاکانت گروه بزرگی از ماهی‌ها بودند (گرچه عملاً ماهی نامیده می‌شوند ولی به ما نزدیک‌ترند تا به قزل‌آلا و شاه ماهی) که بیش از ۲۵۰ میلیون سال پیش پیدا شدند و ظاهراً همزمان با دایناسورها از بین رفتند. گفتم «ظاهراً» از بین رفتند زیرا در ۱۹۳۸ یک ماهی غیرعادی با درازی ۱۳۷ سانتی‌متر و باله‌هایی شبیه پا در دام یک قایق ماهیگیری آب‌های عمیق در سواحل آفریقای جنوبی گیر افتاد و مایه تعجب جانورشناسان جهان شد. گرچه آن ماهی قبل از این‌که ارزش بسیار زیادش را تشخیص دهند از بین رفت ولی خوشبختانه درست به‌موقع باقیمانده‌ی بدنِ متلاشی شده‌اش در معرض توجه یک جانورشناسِ کارآمد آفریقای جنوبی قرار گرفت. او که به زحمت آن‌چه را که پیش چشمانش بود می‌توانست باور کند، آن را یک ماهی سلاکانت زنده تشخیص داد و نامش را لاتی‌مریا گذاشت. بعد از آن، چند عضو دیگر همان گونه در آن منقطه گرفته شد و آن‌گونه که اکنون کاملاً مورد مطالعه قرار گرفته و توصیف شده است می‌توان آن را یک «فسیل زنده» دانست از این نظر که از زمان اجدادش که اکنون به صورت فسیل وجود دارند، یعنی از صدها میلیون سال پیش تاکنون تغییری نکرده است.

بنابراین دوره‌های سکون وجود دارند. ولی چگونه آن‌ها را تفسیر کنیم. چگونه باید آن‌ها را توضیح دهیم؟ بعضی می‌گویند که دودمانی که منجر به لاتی‌مریا شده بی‌تغییر مانده زیرا انتخاب طبیعی در آن حرکتی ایجاد نکرده است. در مفهومی دیگر، در آن نیازی برای تغییر وجود نداشته، زیرا این جانور روش مناسبی برای زندگی در اعماق دریا یافته و در آن‌جا شرایط چندان دستخوش تغییر نیست. شاید این جانور هرگز درگیر مسابقه‌ی تسلیحاتی نشده است. عموزادگان او که از خشکی

[1] Coelacanth

سر در آوردند دچار تحول شدند زیرا انتخاب طبیعی، زیر نفوذ انواع شرایط دشمن‌گونه، از جمله مسابقه تسلیحاتی، مجبور به تغییرشان کرد. گروهی از زیست‌شناسان از جمله بعضی از آن‌ها که خود را طرفدار تحول نقطه‌ای می‌دانند ممکن است بگویند دودمانی که به لاتی‌مریای امروزی می‌رسد عملاً در مقابل تغییر مقاومت کرده است، گرچه احتمالاً فشارهای انتخاب طبیعی نیز وجود داشته است. کدام درست می‌گویند؟ در مورد خاص لاتی‌مریا پاسخ دادن به این سؤال آسان نیست، ولی راهی وجود دارد که ممکن است در کل ما را به مقصود نزدیک کند. بیایید از روی انصاف، اصلاً موضوع خاص لاتی‌مریا را کنار بگذاریم. زیرا گرچه یک نمونه‌ی جالب است ولی واقعاً افراطی است و موردی نیست که نقطه‌باورها بخواهند به‌طور خاص روی آن حساب کنند. به اعتقاد آنان نمونه‌هایی که کمتر افراطی و دارای دوره‌های سکون کوتاه‌ترند، معمول‌تر هستند، زیرا در گونه‌ها یک مکانیسم ژنی وجود دارد که فعالانه در مقابل تغییر مقاومت می‌کند، حتی اگر نیروهای انتخاب طبیعی بخواهد آن‌ها را در جهت تغییراتی پیش ببرد. حالا در این‌جا برای بررسی کلی این فرضیه می‌توانیم آزمایش ساده‌ای انجام دهیم. ما می‌توانیم جمعیت رام نشده‌ای را در نظر گرفته و نیروهای انتخاب خود را بر آن تحمیل کنیم. بنابراینْ فرضیه که گونه‌ها در عمل در مقابل تغییر مقاومت می‌کنند، باید به این نتیجه برسیم که اگر بخواهیم زادگان آن‌ها صفات خاصی داشته باشند، آن گونه حداقل تا مدتی باید مقاومت کند یا بهتر بگوییم تن به تغییر ندهد. اگر گاو را در نظر بگیریم و برای مثال سعی کنیم طوری انتخاب زاد و ولد کند که شیردهی‌اش زیاد شود، باید به نتیجه نرسیم. باید مکانیسم ژنیِ آن گونه نیروهای ضد تکامل خود را بسیج کرده و در برابر فشاری که آن را در جهت تغییر می‌راند بایستد. اگر بخواهیم جوجه‌هایی تولید کنیم که سرعت تخم‌گذاری‌شان بیش‌تر باشد، باید ناموفق باشیم. اگر گاوبازان، در جهت «ورزش» کم ارزش خود، بخواهند به‌طور انتخابی نژاد جنگنده‌تری به وجود آورند، باید ناموفق باشند. البته این شکست باید گذرا باشد، زیرا مانند سدی که در مقابل

فشار زیاد آب بالاخره در هم می‌شکند، نیروهایی که مدعی ضد تکامل بودن هستند شکست خواهند خورد و آن‌گاه دودمان به سرعت در جهت رسیدن به تعادل جدیدی پیش می‌رود. اما وقتی یک برنامه‌ی جدید از زاد و ولد انتخابی را شروع می‌کنیم باید دست‌کم مقداری مقاومت را تجربه کنیم.

البته واقعیت این است که ما در شکل دادن به تغییرهایی در زادگان جانوران یا گیاهانِ تحت کنترل خود ناموفق نیستیم و آن مشکلات دوره اولیه را هم نداریم. معمولاً گونه‌های جانوری و گیاهی بلافاصله تابع تولید مثل گزینشی شده و زاد و ولد کنندگان هیچ نشانه‌ای از داشتن نیروهای ضد تکامل ذاتی بروز نمی‌دهند. فقط ممکن است زاد و ولد کنندگان پس از داشتن چند نسل از زاد و ولد انتخابی، تنوع ژنی موجود تمام می‌شود و باید منتظر جهش‌های جدید باشیم. می‌شود تصور کرد که ماهیان سلاکانت تکامل‌شان متوقف شد زیرا دیگر جهش نداشتند – شاید به این دلیل که در ته دریا از اشعه کیهانی در امان بودند! – اما تا آن‌جا که من می‌دانم کسی تاکنون چنین چیزی را به‌طور جدی مطرح نکرده است و در هر صورت وقتی نقطه‌باوران از مقاومت درونی گونه‌ها در مقابل تغییرات تکاملی صحبت می‌کنند منظورشان این نیست.

آن‌چه مورد نظر آن‌هاست بیش‌تر شبیه چیزی است که من در فصل ۷ در مورد ژن‌های همکاری‌کننده مطرح کردم: این مفهوم که گروه‌های ژنی چنان با هم جفت و جور می‌شوند که در برابر تهاجم ژن‌های جدیدی که عضو گروه آن‌ها نیست مقاومت می‌کنند. این مفهوم پیچیده‌ای است. ولی شاید بشود آن را به صورت قابل قبولی بیان کرد. درواقع، یکی از پایه‌های تئوری *مایر* در مورد اینرسی، که قبلاً به آن اشاره شد، همین است. با این وجود، هر بار که ما زاد و ولد انتخابی‌مان را امتحان می‌کنیم و با مقاومتی مواجه نمی‌شویم، این فکر به ذهن می‌رسد که وقتی دودمانی چند نسلِ متوالی در طبیعت بدون تغییر ادامه داشته باشد به این معنی نیست که در مقابل تغییر در آن مقاومتی وجود دارد بلکه به این دلیل است که در آن هیچ نیروی انتخاب

طبیعی که به نفع تغییر باشد وجود ندارد. آن‌ها تغییر نمی‌کنند زیرا آن افرادی که بدون تغییر باقی می‌مانند امکان بقای‌شان بیش‌تر از آن‌هایی است که تغییر می‌کنند.

بنابراین نقطه‌باوران هم مانند *داروین* یا هر یک از پیروانش، تحول تدریجی را قبول دارند، فقط دوره‌های طولانی سکون را بین فوران‌های تکاملِ تدریجی جا می‌دهند. همان‌طور که قبلاً گفتیم، تنها مورد تفاوت نقطه‌باوران با دیگر مکتب‌های داروینی در تأکید آنان بر دوره‌های سکون به عنوان چیزی مثبت یعنی مقاومتی مثبت در مقابل تغییرات تکاملی است؛ به جای این‌که آن را فقط یک دوره‌ی عدم تغییر محسوب کنند. و این دقیقاً همان جنبه‌ای است که احتمالاً در آن به اشتباه رفته‌اند. و حالا این مانده است که روشن کنم چرا آن‌ها خود را آن‌قدر از *داروین* و نوداروینیسم جدا می‌دانند.

پاسخ در اشتباه گرفتن دو معنای متفاوتی است که از واژه‌ی «تدریجی» برداشت می‌شود و همراه با آن اشتباهی است که در پس ذهن خیلی‌ها وجود دارد و من سعی می‌کنم آن را روشن کنم و آن اشتباه گرفتن نقطه‌باوری با پرش‌باوری است. داروین به شدت مخالف «پرش‌باوری» بود و به همین علت بارها و بارها روی تدریجی بودن آن تغییرات تکاملی که مطرح می‌کرد تأکید کرده است. به این دلیل که برای او پرش‌باوری به معنای همان چیزی بود که من کلان‌جهش بوئینگ ۷۴۷ نامیده‌ام. برای او به معنای پیدایش ناگهانی بود. مثل پیدایش ناگهانی پالاس آتنه[۱] از سر زئوس، یا پیدا شدن یک عضو پیچیده جدید با یک ضرب عصای سحرآمیزِ ژنی. به این معنا که طی یک نسل از جایی که پوست صافی وجود دارد یک چشم کامل و به دردخور به وجود آید. نظر *داروین* در مورد پیدایش ناگهانی چنین بود زیرا برای بیش‌تر مخالفانِ با نفوذ او پیدایش ناگهانی چنان مفهومی را داشت و آن‌ها واقعاً به عنوان عامل اصلی تکامل آن را قبول داشتند.

---

[۱] Pallas Athene، در اساطیر یونان. آتنه که الهه‌ی دانایی و هنر است از سر زئوس خدای خدایان زاده شد.

برای مثال، *دوک آرگایل*[۱] شواهد رخ دادن تکامل را می‌پذیرفت اما می‌خواست به گونه‌ای برای آفرینش‌باوری هم راه را باز بگذارد. او تنها نبود. بسیاری از محافظه‌کاران تصور می‌کردند نیروی [الهی] در آفرینش در باغ عدن نه‌تنها یک بار بلکه به دفعات در مراحل نهاییِ[۲] تکامل نقش داشته است. بنا به گفته‌ی *داروین* به جای این‌که عضو پیچیده‌ای چون چشم را حاصل تکامل عضو ساده‌تری بدانند چنین تصور می‌کردند که چشم در یک آن از ناوجود به عالم وجود جسته است. چنین افرادی به درستی متوجه بودند که چنین پیدایش لحظه‌ای اگر رخ داده باشد، باید به نحوی با کمک نیروهای فوق‌طبیعی صورت گرفته باشد و چنین نیرویی را باور داشتند. دلایل همان دلایل آماری‌اند که من در ارتباط با تندباد و بوئینگ ۷۴۷ از آن صحبت کردم. پرش‌باوری ۷۴۷، درواقع، صورت رقیق شده‌ی آفرینش‌باوری است. به بیان دیگر می‌شود گفت آفرینش اوج پرش‌باوری است. تبدیل یک‌باره‌ی خاکِ بی‌جان به انسان تکامل یافته.

داروین هم این را فهمیده بود. او در نامه‌ای به *سِر چارلز لایل*، زمین‌شناس برجسته‌ی زمان خود، نوشت:

> اگر قانع می‌شدم که لازم است چنین چیزی را به نظریه انتخاب طبیعی اضافه کنم، آن نظریه را مثل یک آشغال دور می‌انداختم... اگر قرار باشد در مرحله‌ای از تکامل کمی معجزه هم به آن بیافزاییم درواقع کاری برای انتخاب طبیعی نکرده‌ایم.

این موضوع بسیار مهم است. *داروین* می‌خواست همه‌ی موضوعِ تکاملِ موجودات پیچیده را از طریق انتخاب طبیعی توضیح دهد بدون این‌که از نیروهای غیرطبیعی کمک بگیرد. این موضوع به خاطر اهمیتی که دارد مطلب اصلی این کتاب است. برای *داروین*، هر پیدایشی که باید با نیروی الهی صورت می‌گرفت، تکامل محسوب

---

۱ The Duke of Argyll

۲ [Crucial]

نمی‌شد. او آن را به موضوع تکامل مربوط نمی‌دانست. با توجه به این دیدگاه، می‌توان درک کرد به چه دلیل *داروین* همواره بر تدریجی بودن تکامل تأکید می‌نمود. کاملاً آشکار است چرا او این جمله را که در فصل ۴ نقل شده، نوشته است:

> اگر بتوان نشان داد که عضو پیچیده‌ای وجود دارد که به روشی غیر از تغییرات کوچک و متوالیِ بسیار زیادی پیدا شده باشد، نظریه‌ی من کاملاً مردود است.

طور دیگری نیز می‌توان به اهمیت بنیادی تدریج‌گرایی *داروین* نگاه کرد. معاصران او، مانند بسیاری از مردم امروز، به زحمت می‌توانستند بپذیرند که بدن انسان و دیگر موجودات پیچیده از طریق تکامل تدریجی پیدا شده باشند. تصورِ این‌که یک آمیبِ تک سلولی، نیای دور ما باشد – همان‌گونه که تا همین اواخر متداول بود – برای بسیاری از مردم مشکل بود و نمی‌توانستند ربطی بین آمیب و انسان در ذهن‌شان پیدا کنند. نمی‌توانستند باور کنند ممکن است از چنان نقطه‌ی شروع ساده‌ای به چنین چیز پیچیده‌ای رسید. *داروین* با توسل به در نظر گرفتن یک رشته تغییرات کوچکِ مرحله‌به‌مرحله سعی در قابل قبول کردن این موضوع داشت. برای همه ممکن است تصورِ تبدیل یک آمیب به انسان آسان نباشد ولی تصور تبدیل یک آمیب به آمیبی کمی متفاوت خیلی دشوار نیست. بعد هم تصور تبدیل آن به آمیبی با تفاوتی دیگر و بعد به آمیبی باز هم با کمی تفاوت و همین‌طور تا آخر زیاد دور از ذهن نیست. همان‌طور که در فصل ۳ دیدیم، این استدلال در صورتی ما را به پذیرش این موضوع ترغیب می‌کند که تأکید کنیم در این مسیر، مراحل بی‌نهایت زیادی باید طی شود و در هر مرحله تغییر بسیار کوچکی صورت می‌گیرد. *داروین* مدام با سرچشمه‌ی این ناباوری در جدال بود. همواره از یک اسلحه برای مقابله با آن استفاده می‌کرد: تأکید بر تدریجی بودن تغییر، و غیرمحسوس بودن آن تغییر به دلیل این‌که طی نسل‌های بیشماری به تدریج رخ می‌دهد.

از قضا بد نیست چیزی از نوشته‌ی جی. *بی‌اس. هالیدن* در مورد جدال با

سرچشمه‌ی آن ناباوری ذکر کنیم. او می‌گوید در رحم مادر ظرف نُه ماه رویدادی مانند تبدیل آمیب به انسان رخ می‌دهد. معلوم است که فرایند رشد جنین کاملاً با تکامل فرق دارد، ولی هر کس که به امکان تبدیل یک تک سلولی به یک انسان شک می‌کند فقط باید در مورد دوران جنینیِ خود تأمل کند تا تکلیفش با آن تردید روشن شود. در ضمن، اگر روی انتخاب آمیب به عنوان جد افتخاری‌مان تأکید می‌کنم، امیدوارم از نظر شما زیاد مته به خشخاش نگذاشته باشم، این یک قرارداد است. باکتری انتخاب بهتری بود ولی همان‌طور که می‌دانیم آن‌ها موجودات جدیدتری هستند.

بحث را ادامه می‌دهیم، *داروین* روی تدریجی بودن تکامل زیاد تأکید می‌کرد زیرا او مخالف تصورِ نادرستی از تکامل بود که در قرن نوزدهم رواج داشت. در آن زمان مفهوم «تدریجی بودن» در مقابل «پرشی بودن» قرار داشت. *الدرج و گولد*، در اوضاع و احوال اواخر قرن بیستم، خوانش بسیار متفاوتی از تدریجی‌بودن دارند. آن‌ها درواقع تدریجی‌بودن را، نه به صورت خیلی صریح، به مفهوم «با سرعت یکنواخت» به کار می‌برند و آن را مخالف برداشت خودشان از «نقطه‌باوری» می‌دانند. آن‌ها «تدریجی‌بودن» را معادل «سرعت یکنواخت داشتن» دانسته و آن را رد می‌کنند. درواقع حق دارند که آن را رد کنند زیرا چنین چیزی در شکل نهایی خود همان‌قدر بی‌معنی است که من در تمثیل سِفر خروج نشان داده‌ام.

ولی برای همراه کردن این انتقاد قابل توجیه با انتقاد از *داروین* کافی است که دو برداشت متفاوتی که از عبارت «تدریجی‌بودن» وجود دارد با هم اشتباه گرفته شوند. *داروین* هم بی‌شک با آن مفهومی از «تدریجی‌بودن» که *الدرج و گولد* مخالفش هستند، مخالف بود. اگر آن مفهوم از تدریج‌گرایی را که *داروین* به شدت طرفدارش بود در نظر بگیریم، *الدرج و گولد* هم تدریج‌گرا هستند. نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای، بیان دیگری از داروینیسم است. بیانی که اگر در زمان خود *داروین* مطرح شده بود حتماً خود *داروین* آن را تأیید می‌کرد. این تفسیر حاشیه‌ای این همه هیاهو لازم ندارد.

درواقع علت این‌که این همه در موردش صحبت می‌شود و من یک فصل این کتاب را به آن اختصاص داده‌ام، این است که آن را فروخته‌اند – ژورنالیست‌ها آن را – به عنوان چیزی که مخالف داروینیسم است چند بار فروخته‌اند. چرا چنین شده است؟

در دنیا آدم‌هایی هستند که نااُمیدانه تلاش در نپذیرفتن داروینیسم دارند. به نظر می‌رسد می‌شود آن‌ها را به سه گروه اصلی تقسیم کرد. اول، آن‌هایی که به دلایل مذهبی، می‌خواهند که اصلاً تکامل دروغ باشد. دوم آن‌ها که دلیلی برای انکار تکامل نمی‌یابند اما اغلب به دلایل سیاسی یا عقیدتی داروینیسم و روال کار آن را موافق طبع خود نمی‌بینند. بعضی از این‌ها مفهوم انتخاب طبیعی را ظالمانه و دور از انصاف می‌دانند و بعضی دیگر انتخاب طبیعی را با تصادفی بودن اشتباه گرفته و آن را بی‌معنی می‌پندارند زیرا غرورشان را جریحه‌دار می‌کند و کسانی دیگر داروینیسم را با داروینیسم اجتماعی، که نژادپرستان و دیگر گروه‌های ناسازگار را در برمی‌گیرد، اشتباه می‌گیرند. سوم، کسانی، از جمله آن‌هایی که به قول خودشان در «رسانه» (اغلب به صورت یک اسم مفرد) کار می‌کنند، هستند و فقط دوست دارند چیزهای پُرهیاهو را ببینند. شاید به این دلیل که از به هم ریختن کاسه و کوزه‌ی کسی می‌توان برنامه‌های مردم‌پسند خوبی تهیه کرد؛ و داروینیسم به اندازه‌ی کافی جا افتاده و مورد پذیرش هست که بشود با برهم زدن بساطش گرد و خاکی بلند کرد.

نیت هر چه باشد، نتیجه این می‌شود که اگر پژوهشگر معروفی کوچک‌ترین ایرادی به گوشه‌ای از داروینیسم بگیرد، آن را چندین برابر بزرگ می‌کنند و با بوق و کرنا جار می‌زنند. آن‌قدر مشتاق این کارند که انگار بلندگوی پرقدرتی با یک میکروفنِ کاملاً تنظیم شده، آماده است تا کوچک‌ترین نشانه از تضاد با داروینیسم را به گوش همه برساند. و بسیار جای تأسف است زیرا بحث و انتقاد نقش بسیار مهمی در هر علم دارد و فاجعه است اگر قرار باشد پژوهشگران از ترس هیاهوی بلندگوها دهان خود را ببندند. لازم به ذکر نیست که این بلندگوها گرچه پرقدرت‌اند، خیلی با کیفیت نیستند؛ تا حد زیادی صدا را تغییر می‌دهند. دانشمندی که یک

اختلاف جزئی با داروینیسم را با تردید به آهستگی مطرح می‌کند، در معرض این خطر قرار دارد که صورت تحریف شده و کاملاً تغییر یافته‌ی صحبتش را از بلندگوهای مشتاق و منتظر با صدای بلند بشنود.

الدرج و *گولد* آهسته نمی‌گویند. آن‌ها واضح صحبت می‌کنند، رسا و بلند. چیزی که می‌گویند اغلب کاملاً حساب شده است ولی پیامی که از آن دریافت می‌شود این است که اشکالی در داروینیسم وجود دارد. این حرفِ خود «این دانشمندان» است. *هله‌لویا*[۱]! سردبیر *آفرینش انجیلی*[۲] نوشته است:

> باید بپذیریم شکافی که اخیراً در نوداروینیسم پیدا شده باور جایگاه مذهبی و علمی ما را بسیار محکم‌تر کرده است و ما باید بیش‌ترین استفاده را از آن بکنیم.

الدرج و *گولد* هر دو در مبارزه با گردن‌کلفتان آفرینش‌باوری از خود رشادت نشان داده‌اند. آن‌ها شکایت خود در مورد سوء استفاده از سخنان‌شان را با صدای بلند اعلام کرده‌اند ولی معلوم نیست چرا بلندگو در این مورد صدایش بلند نبوده است. من با آن‌ها احساس همدردی دارم، زیرا خودم از یک سری بلندگوها چنین تجربه‌ای را داشته‌ام. البته بلندگوهایی که نه از نظر مذهبی، بلکه از نظر سیاسی کوک شده بودند.

اکنون لازم است بلند و شفاف حقیقت را بگوییم: جایگاه نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای دقیقاً در درون نظریه‌ی ترکیبی نوداروینیسم است. همیشه چنین بوده است. البته زمان لازم است تا آسیبی را که گفته‌ی تحریف شده ایجاد کرده از بین برود ولی چنین خواهد شد. نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای به صورت چین کوچک و جالبی بر سطح اصول نظریه نوداروینیسم خود را نشان خواهد داد، نه به صورت چیزی که بر مبنای آن *گولد* ادعا کند نظریه ترکیبی (نام دیگر نوداروینیسم) محکوم به فناست. مثل این

---

۱ Hallelujah، شکر خدا

۲ Biblical Creation

است که کشف کنیم زمین کاملاً کروی نیست بلکه شبه کره‌ای مسطح است و پرچمی با این عنوان روی آن نصب کنیم:

اشتباه کپرنیک: حقانیت تخت بودن زمین ثابت شد.

حقیقت این است که هدف گفته‌های *گولد* بیش از آن‌که مخالفت با «تدریجی‌بودن» مورد ادعای سنتز داروینی‌ها باشد، مخالفت با یک نظر دیگر آن‌ها بوده است. *الدرج* و *گولد* این ادعا را که همه‌ی تکامل، حتی آن‌هایی که در بزرگ‌ترین مقیاس‌های زمین‌شناسی رخ داده‌اند، نتیجه تمامی رویدادهایی است که در درون یک جمعیت یا یک گونه رخ می‌دهد مورد تردید قرار می‌دهند. آن‌ها معتقدند صورت عالی‌تری از انتخاب وجود دارد و آن را «انتخاب گونه» (Species selection) می‌نامند. من این موضوع را به فصل بعد موکول می‌کنم. در فصل بعد همچنین با زیست‌شناسان مکتب دیگری سروکار داریم که آن‌ها نیز با گام زدن در مسیری متزلزل، در مواردی خود را به عنوان مخالف *داروین* مطرح کرده و شاخه‌گرایان تغییریافته[1] نام دارند. این‌ها به موضوع کلی رده‌شناسی، علم طبقه‌بندی تعلق دارند.

[1] Transformed cladists

فصل ۱۰

یگانه درختِ واقعی حیات

موضوع اصلی این کتاب، تکامل است، تکامل به مثابه‌ی کلیدی که مسئله طرح‌های پیچیده را باز می‌گشاید؛ تکامل به عنوان توضیح صحیح آن پدیده‌ای که از نظر *پالی* وجود یک ساعت‌ساز آسمانی را اثبات می‌کند. به این دلیل من مدام از طرح چشم یا مکان‌یاب پژواکی صحبت می‌کنم. اما با استفاده از نظریه‌ی تکامل یه رشته از چیزهای دیگر را هم می‌توان توضیح داد، که از انواع گوناگونی هستند: طرح‌های متفاوت جانوران و گیاهان که در سراسر دنیا پراکنده‌اند و نیز پراکندگی ویژگی‌ها در آن‌ها. گرچه چشم و دیگر بخش‌های دارای تشکیلات پیچیده، بیش از همه فکر مرا به خود مشغول می‌کند، ولی از آن بُعدِ دیگرِ نقشِ تکامل که در شناختِ طبیعت به ما کمک می‌کند نباید غافل شویم. به این ترتیب، موضوع این فصل رده‌بندی است.

رده‌بندی دانش طبقه‌بندی کردن است. این موضوع برای بعضی‌ها بی‌دلیل تصویر ملال‌آوری دارد، به‌طور ناخودآگاه آن‌ها را یاد موزه‌های خاک گرفته و بوی محلول‌های نگهدارنده می‌اندازد، تقریباً مثل این است که با تاکسیدرمی (پوست آکنی) اشتباه گرفته می‌شود. ولی واقعیت این است که رده‌بندی هر چه هست ملال‌آور نیست. این رشته به دلایلی که من درست درک نمی‌کنم، یکی از رشته‌های زیست‌شناسی است که در آن گزنده‌ترین تناقض‌ها وجود دارد. موضوعِ مورد علاقه‌ی

اهل فلسفه و تاریخ‌نگارها نیز هست. رده‌بندی در همه‌ی بحث‌های مربوط به تکامل نقش مهمی دارد و بعضی از بی‌پرواترین زیست‌شناسان امروزی که ادعا می‌کنند ضدِ داروینی‌اند از درون قشرهای مختلف متخصصان رده‌بندی بیرون آمده‌اند.

گرچه متخصصان رده‌بندی اغلب گیاهان و جانوران را مطالعه می‌کنند اما هر چیزِ دیگری را نیز می‌توان طبقه‌بندی کرد: سنگ‌ها، ناوها، کتاب‌های کتابخانه، ستاره‌ها، زبان‌ها. طبقه‌بندی منظم، اغلب معیاری برای راحتی است و به عنوان یک ضرورت کاری مطرح می‌شود ولی این فقط بخشی از واقعیت امر است. اگر کتاب‌های یک کتابخانه‌ی بزرگ را طوری مرتب نکنند که شما بتوانید هر وقت که بخواهید به موضوع مورد نظر خود دسترسی پیدا کنید، تقریباً کاری بی‌فایده صورت گرفته است. علم، یا هنرِ کتابداری موردی از رده‌بندی کاربردی است. به همین دلیل، زیست‌شناسان احساس می‌کنند خیلی بهتر است با نظر همدیگر گیاهان و جانوران را رده‌بندی کنند و برای هر رده، عنوانی در نظر بگیرند. ولی اگر تنها دلیل رده‌بندی را فقط همین امر بدانیم، از نکته مهم دیگری غافل شده‌ایم. از دید زیست‌شناسانِ تکامل، طبقه‌بندی موجودات زنده ارزش ویژه‌ای دارد که نظیر آن را در هیچ طبقه‌بندی دیگری نمی‌توان دید. و اساس آن بر این نظر است که تنها یک شجره‌ی خانوادگی واقعی برای همه‌ی موجودات زنده وجود دارد و ما باید رده‌شناسی‌مان را بر اساس آن انجام دهیم. این طبقه‌بندی ویژگی خاصی دارد که من آن را *لانه‌گزینی کامل* (Perfect nesting) می‌نامم. مفهوم این اصطلاح و اهمیت آن از مطالب اصلی این فصل است.

بیایید به عنوان نمونه‌ای از طبقه‌بندیِ غیرزیست‌شناختی، کتابخانه را در نظر بگیریم. برای طبقه‌بندی کردن کتاب‌های موجود در یک کتابخانه یا کتابفروشی این‌طور نیست که فقط یک روش خاص و مناسب وجود داشته باشد. کتاب‌دار ممکن است کتاب‌ها را زیرِ عنوان‌های اصلی مانند علوم، تاریخ، ادبیات، هنرهای دیگر، آثار خارجی و غیره دسته‌بندی کند. و دوباره هر یک از این دسته‌های اصلی را

تقسیم‌بندی کند. بخش علوم کتابخانه می‌تواند به زیربخش‌های زیست‌شناسی، زمین‌شناسی، شیمی، فیزیک و غیره تقسیم شود. در بخش علوم، کتاب‌هایی که زیر عنوان زیست‌شناسی‌اند را می‌توان در قفسه‌های جداگانه‌ی فیزیولوژی، آناتومی، بیوشیمی، حشره‌شناسی و غیره قرار داد. و سرانجام در هر قفسه، کتاب‌ها را می‌شود به ترتیب الفبا مرتب کرد. قسمت‌های دیگر کتابخانه، بخش تاریخ، ادبیات، زبان‌های خارجی و بقیه هم به همین روش دسته‌بندی می‌شوند. بنابراین کتابخانه طوری سلسله‌مراتبی، طبقه‌بندی شده که هر مراجعه کننده بتواند به آن‌چه مورد نظر است دسترسی پیدا کند. طبقه‌بندی به صورت سلسله‌مراتبی کار را راحت می‌کند زیرا مراجعه کننده می‌تواند بدون اتلاف وقت در میان یک مجموعه چیزی را که لازم دارد پیدا کند، به همین دلیل، در فرهنگ‌های لغات، واژه‌ها را به ترتیب الفبا می‌آورند.

اما برای مرتب کردن کتاب‌های یک کتابخانه فقط یک سلسله مراتب منحصر به فرد وجود ندارد. ممکن است یک کتاب‌دارِ دیگر از روش سلسله‌مراتبیِ دیگری برای نظم دادن به کتاب‌ها استفاده کند. مثلاً، نخواهد بخش جداگانه‌ای با عنوان زبان خارجی داشته باشد و ترجیح دهد کاری به زبان کتاب نداشته باشد و همه‌ی کتاب‌ها را فقط تحت موضوع‌شان دسته‌بندی کند: کتاب‌های زیست‌شانسی را که به زبان آلمانی است در بخش زیست‌شناسی و کتاب‌های تاریخ را که به زبان آلمانی است در بخش تاریخ جای دهد و بقیه را هم همین‌طور. کتاب‌دار سومی ممکن است با روش یک‌دست‌تری همه‌ی کتاب‌ها را بر اساس تاریخ انتشار منظم کند و با تکیه بر برگه‌ی نمایه (یا معادل کامپیوتری آن) جای کتاب مورد نظر را پیدا کند.

این سه شیوه‌ی کتاب‌داری کاملاً با هم فرق دارند، اما هر سه روش از نظر خوانندگان کتاب کارآمد هستند، گرچه ممکن است نظر یک مسئولِ سالمند کلوپ لندن غیر از این باشد. یک بار از رادیو شنیدم که آن شخص به خاطر استخدام کردن کتاب‌دار از هیئت مدیره‌اش گلایه می‌کرد. از نظر او، کار آن کتابخانه صد سال بدون رده‌بندی پیش رفته بود و او متوجه نبود چه لزومی دارد که کتاب‌ها را به ترتیب

خاصی بچیند. مصاحبه‌کننده با ملایمت از او پرسید به نظر او کتاب‌ها را چگونه باید مرتب کرد. وی بدون درنگ و با صدای بلند گفت: «بلندترین سمت چپ، کوتاه‌ترین سمت راست!» کتابفروشی‌های معمولی کتاب‌هایشان را بر اساس تقاضای مردم دسته‌بندی می‌کنند. به جای علم، تاریخ، جغرافی و غیره، بخش‌های باغبانی، آشپزی، چهره‌های معروف تلویزیون و پدیده‌های جادویی دارند؛ و یک بار خود م دیدم روی قفسه‌ای برچسب زده‌اند **دین و اشیاء پرنده‌ی ناشناخته** (UFOs).

بنابراین این‌طور نیست که فقط یک نظم خاص برای طبقه‌بندی کتاب وجود داشته باشد. کتاب‌دارها از نظر روش دسته‌بندی کتاب با هم اختلاف‌هایی دارند که بی‌معنی به نظر نمی‌رسد ولی ضابطه‌ای وجود ندارد که بر اساس آن، نظر یکی بر دیگری رجحان داشته باشد یا دلیل بر «درست‌تر» بودن یا حقانیت آن روش نسبت به روش‌های دیگر باشد. بیش‌تر معیارهایی مانند راحتی استفاده‌کنندگان یا سریع‌تر یافتن کتاب مورد نظر، و مانند این‌ها مورد توجه است. به این ترتیب، می‌شود دسته‌بندی کتاب‌ها را در کتابخانه‌ها دلبخواهی دانست. البته منظور این نیست که استفاده از یک روشِ خوبِ نظم‌دهی اهمیتی ندارد. درواقع منظور این است که بیش از یک روش خوب دسته‌بندی وجود دارد و این‌طور نیست که در مورد یک روش به عنوان بهترین روش اجماع نظر بین‌المللی پیدا شده باشد. اما، همان‌طور که خواهیم دید، در طبقه‌بندی موجودات زنده، برخلاف طبقه‌بندی کتاب‌ها، این ویژگی خاص وجود دارد، دست‌کم وقتی از نظر پیدایش به آن‌ها نگاه کنیم.

البته روش‌های زیادی را می‌توان برای طبقه‌بندی موجودات زنده در نظر گرفت ولی خواهیم دید که همه‌ی آن‌ها، به جز یکی، مانند طبقه‌بندی هر کتاب‌داری دلبخواهی‌اند. اگر فقط راحتی مورد نظر باشد، ممکن است یک موزه‌دار نمونه‌هایش را بر اساس شرایط نگهداری دسته‌بندی کند. نمونه‌های پر شده‌ی بزرگ، نمونه‌های خشک شده‌ی کوچک که روی ورق‌های چوب پنبه‌ای سنجاق شده‌اند، آن‌ها که در شیشه درون مایع نگه داشته می‌شوند، میکروسکوپی‌های روی اسلاید و غیره. این

نوع دسته‌بندی که برای راحتی کار است در باغ‌وحش‌ها معمول است. در باغ‌وحشِ لندن، کرگدن‌ها را در بخش فیل‌ها قرار داده‌اند چون قفس آن‌ها هم باید مثل جایگاه فیل‌ها کاملاً بلند و محکم باشد. کسی که روی زیست‌شناسی کاربردی کار می‌کند ممکن است جانداران را بر اساس مضر، مفید و خنثی بودن دسته‌بندی کند (مضرها باز به جانوران آزمایشگاهی، آفات گیاهی، آن‌ها که مستقیماً نیش می‌زنند یا گاز می‌گیرند تقسیم می‌شوند). یک متخصص تغذیه ممکن است حیوانات را از نظر ارزش غذایی گوشت‌شان برای انسان دسته‌بندی کرده سپس دسته‌بندی ریزتری را در هر دسته منظور کند. مادربزرگِ من برای بچه‌ها در یک دفترچه‌ی پارچه‌ای حیوانات را بر اساس شکل پای‌شان دسته‌بندی و گلدوزی کرده بود. انسان‌شناسان از روش‌های متفاوت طبقه‌بندی حیوانات در قبایل مختلف جهان، مدارک متعددی ارائه کرده‌اند.

اما در میان همه‌ی روش‌های طبقه‌بندیِ قابل تصور فقط یک روش منحصر به فرد وجود دارد، آن روش خاص از این نظر منحصر به فرد است که، اگر اطلاعات ما کامل باشد، می‌توانیم واژه‌هایی مانند «درست» و «نادرست» یا «غلط» و «صحیح» را در موردش به کار ببریم. آن روش منحصر به فرد بر اساس روابط تکامل است. برای این‌که اختلالی پیش نیاید من هم آن را به همان نامی می‌نامم که زیست‌شناسان به افراطی‌ترین صورت آن داده‌اند: رده‌بندی شاخه‌گرا.[۱]

در رده‌بندی شاخه‌گرا، نزدیکی یا خویشاوندی، معیارِ نهایی برای دسته‌بندی موجودات زنده است، به عبارت دیگر، معیار نزدیکی نسبیِ آن‌ها با جدِ مشترک‌شان است. برای مثال، پرنده‌ها بر اساس این واقعیت از دیگر موجودات متمایز می‌شوند که همه زادگان جد مشترکی هستند که او جدِ هیچ غیرپرنده‌ای نیست. پستانداران از جد مشترکی پیدا شده‌اند که آن جدِ مشترک، نیای غیرپستانداری نیست. پرنده‌ها و پستانداران جد مشترک دورتری دارند که در آن با بسیاری از حیوانات دیگر مثل مار

۱ Cladistic taxonimy

و مارمولک و توآتارا[۱] شریک‌اند. همه‌ی زادگان این جدِ مشترک، آب‌پرده‌داران[۲] نامیده می‌شوند. به این ترتیب پرنده‌ها و پستانداران از آب‌پرده‌داران هستند. بر اساس نظر شاخه‌گراها، «خزندگان» یک واژه مناسب در رده‌بندی محسوب نمی‌شوند، زیرا در این روش طبقه‌بندی، خزنده استثناء محسوب می‌شود و آب‌پرده‌داری غیر از همه پرندگان و پستانداران است. به دیگر کلام، نزدیک‌ترین جد مشترک همه‌ی خزندگان (مارها، لاک‌پشت‌ها و غیره) جد بعضی از غیرخزندگان، از جمله پرندگان و پستانداران، نیز هست.

در میان پستانداران، موش و موش صحرایی جد مشترک نزدیک‌تری با هم دارند. شیر و پلنگ جد مشترک‌شان به هم نزدیک است، همین‌طور انسان و شمپانزه. جاندارانی که کاملاً به هم نزدیک‌اند که جد مشترک نزدیکی دارند. جانوارنی که از هم دورند، جد مشترک بسیار دورتری دارند. جانوران خیلی دور از هم مثل انسان و لیسک[۳] جد مشترک بسیار دورتری دارند. جانداران هرگز نمی‌توانند کاملاً به هم بی‌ارتباط باشند. زیرا تردیدی نیست که حیات به آن صورتی که ما می‌شناسیم فقط یک بار بر روی کره‌ی زمین پیدا شده است.

رده‌بندی شاخه‌گرای واقعی دقیقاً سلسله‌مراتبی است، منظور من از به کار بردن این اصطلاح این است که آن را می‌توان به صورت درختی نمایش داد که شاخه‌هایش مدام از یکدیگر دور می‌شوند و هیچ به یکدیگر نزدیک نمی‌شوند. از دیدگاه من (بعضی از مکاتب طبقه‌بندی که بعداً مورد بحث قرار خواهند گرفت این را قبول ندارند)، سلسله‌مراتبی بودن آن نه به خاطر راحتی کار است و نه به این خاطر که در دنیا طبیعتاً همه چیز سلسله‌مراتب دارد، بلکه فقط به این دلیل که طرح‌واره‌ی پیدایش تبارها سلسله‌مراتبی است. وقتی درختِ حیات تا حد کمترین فاصله،

---

۱ Tuataras، نوعی سوسمار.

۲ Amniote = Amnion

۳ Slug، حلزون بدون صدف.

انشعاب یافت (به مرزگونه‌ها رسید)، دوباره شاخه‌ها جمع نمی‌شوند (ممکن است، همان‌طور که در مورد منشاء سلول هسته‌دار (Eukaryotic) در فصل ۷ اشاره شد، استثناهای نادری وجود داشته باشد). پرنده‌ها و پستانداران همه زادگان یک جد مشترک‌اند ولی حالا شاخه‌های جداگانه‌ای از درخت تکامل به شمار می‌آیند و دیگر هرگز به هم نمی‌پیوندند. دیگر هیچ آمیزی بین یک پرنده و یک پستاندار صورت نخواهد گرفت. نام گروهی از موجودات زنده با این ویژگی که همه دارای یک نیای مشترک بوده و آن جد مشترک نیای هیچ موجودی غیر اعضای آن گروه نباشد را یک شاخه (*clade*) گذاشته‌اند. این واژه از یونانی گرفته شده و به معنی شاخه درخت است.

این روشِ دقیقِ رده‌بندی را می‌توان به صورتی دیگر و با استفاده از اصطلاح «لانه‌گزینی کامل» توضیح داد. نام مجموعه‌ای از تمام حیوانات را روی صفحه‌ای می‌نویسیم و دور مجموعه‌های وابسته به هم دایره‌ای می‌کشیم. مثلاً، موش و موش صحرایی درون یک دایره جای می‌گیرند و این نشان می‌دهد که رابطه‌ی خویشاوندی و جدِ مشترک نزدیکی دارند. خوکچه‌ی هندی و copybara[1] هم درون یک حلقه‌ی کوچک دیگر جا می‌گیرند. بعد حلقه‌ی موش و موش صحرایی و حلقه‌ی خوکچه‌ی هندی و copybara (همراه با بیدستر و خارپشت و سنجاب و تعدادی حیوان دیگر) با هم دایره بزرگ‌تری با نام جوندگان را تشکیل می‌دهند. اصطلاحاً می‌گویند دایره‌های کوچک درون دایره بزرگ لانه‌گزینی کرده‌اند. در جایی دیگر در آن صفحه، شیر و ببر با هم در یک دایره‌ی کوچک قرار می‌گیرند. این حلقه به حلقه‌های دیگری پیوسته می‌شود و نام دایره‌ی بزرگ مجموع آن‌ها گربه‌سانان خواهد بود. گربه، سگ، راسو، خرس و حیواناتی مانند این‌ها همه در حلقه‌هایی تودرتو درون یک حلقه‌ی بزرگ‌تر به نام گوشت‌خواران جای می‌گیرند. بعد حلقه‌ی گوشت‌خواران جزئی از یک دایره‌ی بزرگ‌تر، به نام پستانداران می‌شود.

[1] نوعی جانور جونده‌ی بزرگ. مترجم

اهمیت روش حلقه‌های تودرتو این است که در آن لانه‌گزینی به صورت کامل شکل می‌گیرد و هرگز، حتی تنها در یک حلقه خاص نیز، حلقه‌هایی که رسم می‌کنیم همدیگر را قطع نمی‌کنند. از هر دو دایره‌ای که بر روی هم قرار می‌گیرند، همواره یکی کاملاً درون آن دیگری قرار دارد. مساحت دایره‌ی داخلی همیشه در محدوده‌ی دایره‌ی بزرگ‌تر قرار دارد و هیچ موردی از همپوشی ناقص وجود ندارد. این ویژگی لانه‌گزینی کامل در طبقه‌بندی کتاب‌ها، زبان‌ها، انواع خاکـ یا مکاتب فکری فلسفی دیده نمی‌شود. اگر کتاب‌دار حلقه‌ای دور کتاب‌های زیست‌شناسی و حلقه‌ای دیگر دور کتاب‌های دینی بکشد، می‌بیند که این دو دایره یکدیگر را قطع می‌کنند. در ناحیه‌ی همپوشی، کتاب‌هایی با عناوینی مانند «زیست‌شناسی و باورهای مسیحست» قرار می‌گیرند.

شاید ما انتظار داشته باشیم که در طبقه‌بندی زبان‌ها ویژگی لانه‌گزینی کامل دیده شود. زیرا همان‌طور که در فصل ۸ دیدیم زبان‌ها به صورتی مانند جانداران تکامل پیدا می‌کنند. زبان‌هایی که تازه از یک جد مشترک جدا شده‌اند، مثل سوئدی، نروژی و دانمارکی شباهت زیادتری به هم دارند نسبت به زبان‌هایی که مدت‌ها پیش از آن جدا شده‌اند، مثل ایسلندی. اما زبان‌ها فقط منشعب نمی‌شوند، آن‌ها در هم ادغام هم می‌شوند. انگلیسی امروز ترکیبی از آلمانی و زبان‌های رومیایی است که خیلی زودتر منشعب شده‌اند و بنابراین زبان انگلیسی را نمی‌توان در یک نمودار لانه‌گزینی سلسله‌مراتبی قرار داد. حلقه‌هایی که دور زبان انگلیسی‌اند همدیگر را قطع و همپوشی ناقص دارند. حلقه‌ها در طبقه‌بندی زیست‌شناختی هرگز به این صورت همپوشی ناقص ندارند زیرا تکامل زیست‌شناختی در سطوح بالاتر از گونه همیشه واگرا است.

به موضوع کتابخانه برمی‌گردیم. هیچ کتاب‌داری نمی‌تواند مسئله کتاب‌های بینابین یا موارد همپوشی را نداشته باشد. قرار دادن کتاب‌های زیست‌شناسی و دینی در کنار هم و گذاشتن کتاب‌های بینابین در فاصله‌ی آن‌ها مشکلی را حل نمی‌کند،

زیرا آن وقت با کتاب‌هایی که بین شیمی و زیست‌شناسی یا بین فیزیک و دین، تاریخ و دین، تاریخ و زیست‌شناسی‌اند چه باید کرد؟ به نظرم این یک واقعیت است که میانی‌ها مسئله اجتناب‌ناپذیری‌اند که در نهاد طبقه‌بندی هر چیزی وجود دارند مگر در چیزهایی که حاصل تکامل زیست‌شناختی باشند. در مورد خودم بگویم، مرتب کردن چیزهای مربوط به امور کاری مریضم می‌کند: منظم کردن قفسه کتاب‌ها، رونوشت گرفتن از مقاله‌های علمی که همکاران (در نهایت لطف) برایم می‌فرستند، دسته‌بندی کاغذهای اداری، نامه‌های قدیمی و غیره. هر جور که دسته‌بندی کنید، باز چیزهایی هست که در هیچ گروهی قرار نمی‌گیرد و این تصمیم‌گیری سخت متأسفانه، مرا به آن‌جا می‌رساند که چیزهای ناجور را مدت‌ها، گاهی سال‌ها، روی میزم بگذارم تا بالاخره روزی بدون این‌که اشکالی احساس کنم با خیال راحت دور بیندازمشان. معمولاً چاره‌ای نیست جز به دسته‌ای ناخوشایند با عنوان «متفرقه» متوسل شویم، دسته‌ای که وقتی آن را در نظر گرفتی، بدجوری رو به بیش‌تر شدن می‌گذارد. گاهی فکر می‌کنم که کتاب‌دارها و مسئولان نگهداری از موزه‌ها، غیر از موزه‌های زیست‌شناسی، همه مستعد دچار شدن به انواع زخم‌ها هستند.

در طبقه‌بندی موجودات زنده مسئله تعیین جا را نداریم. هیچ جاندار «متفرقه»‌ای وجود ندارد. چه در سطحی بالاتر از گونه باشیم، چه وقتی فقط جانداران امروزی را مطالعه می‌کنیم (یا جاندار مربوط به هر بُرش از یک زمان فرضی را: پایین را ببینید) هیچ چیزِ بینابین و دردسرسازی وجود ندارد. اگر جانداری یک چیز بینابین و مایه دردسر به نظر بیاید مثلاً دقیقاً چیزی بین پستاندار و پرنده باشد، یک متخصص تکامل باید مطمئن شود که آن موجود به‌طور مشخص به کدام یک از این دو دسته تعلق دارد و نباید روی آن ظاهر بینابینی حساب کند. ولی کتاب‌دار بیچاره هرگز چنین اطمینانی ندارد. یک کتاب ممکن است همزمان به بخش‌های تاریخ و زیست‌شناسی تعلق داشته باشد. زیست‌شناسانِ شاخه‌گرا هرگز مانند کتاب‌دارها درگیر بحث‌هایی مانند این‌که مثلاً نهنگ‌ها را جزء پستانداران یا ماهی‌ها یا در ردیفی

بین ماهی و پستاندار قرار دهند نمی‌شوند. تنها بحث ما یافتن واقعیت است. در این مورد، واقعیت‌ها عملاً همه‌ی زیست‌شناسان امروزی را به نتیجه‌ی یکسانی می‌رساند. نهنگ‌ها پستاندارند نه ماهی و اصلاً ذره‌ای بینابین نیستند. آن‌ها همان‌قدر به ماهی نزدیک‌اند که انسان یا پلاتی‌پوسِ نوک اردکی یا هر پستاندار دیگری به ماهی نزدیک است.

درواقع، مهم این است که متوجه باشیم همه‌ی پستانداران – انسان‌ها، نهنگ‌ها، پلاتی‌پوس‌های نوک اردکی و بقیه – دقیقاً نزدیکی یکسانی با ماهی دارند زیرا نسبت همه‌ی پستانداران با ماهی از طریق یک نیای مشترک است. مثلاً، این افسانه که پستانداران مانند نردبان مراتبی دارند که بعضی‌ها از بعضی‌های دیگر پایین‌تر و به ماهی نزدیک‌ترند، فقط حاکی از نوعی غرور در ماست و ربطی به تکامل ندارد. این یک تصور قدیمی و مربوط به قبل از پیدایش بحث تکامل است که گاهی با عنوان سلسله‌ی بزرگ موجودات از آن یاد می‌کنند و می‌باید با مطرح شدن تکامل از بین می‌رفت ولی عجیب است که به درون برداشتی که مردم از تکامل دارند راه پیدا کرده است.

در این‌جا ناگزیرم توجه شما را به داستان خنده‌داری جلب کنم که آفرینش‌باوران بسیار مشتاق‌اند تکامل باوران را در چالش آن بپیچانند: «از خودتان بینابینی‌ها را بسازید. اگر تکامل حقیقت داشته باشد، باید موجوداتی بین سگ و گربه یا بین فیل و قورباغه وجود داشته باشد. ولی آیا تا به حال کسی یک فیلباغه[1] دیده است؟» برای من جزوه‌هایی از آفرینش‌باوران رسیده است که در آن با رسم تصاویر مضحکی از موجودات شترگاوپلنگ[2] مانندی خواسته‌اند تکامل را به تمسخر بگیرند. مثلاً پاهای عقب و ران اسب را به بخش جلوی سگ وصل کرده‌اند و به تصور نویسنده،

[1] در متن اصلی frelephant است یعنی چیزی بین frog (قروباغه) و elephant (فیل). مترجم

[2] Chimera، در اساطیر یونان عفریته‌ای است با سر شیر، بدن بز و دُم اژدها. مترجم

تکامل باوران انتظار دارند چنین موجوداتی وجود داشته باشند. این کار نه‌تنها ما را از موضوع پرت می‌کند، بلکه دقیقاً برخلاف اصل موضوع است. یکی از مهم‌ترین چیزهایی که تکامل برای ما روشن می‌کند این است که موجودات میانی نمی‌توانند وجود داشته باشند. اصلاً لُب مطلب من از قیاسی که بین جاندارن و کتاب‌های کتابخانه کردم همین بود.

به این ترتیب، طبقه‌بندیِ جانداران تکامل‌یافته این ویژگی منحصر به فرد را دارد که می‌تواند در جهانی که در آن اطلاعات کامل باشد، اتفاق نظر کامل ایجاد کند. منظور من از امکان به کار بردن واژه‌های «درست» و «نادرست» در مورد ادعاهای رده‌بندی شاخه‌گرا همین است، در حالی‌که این صفات را به طبقه‌بندی کتاب‌های کتابخانه نمی‌توان نسبت داد. ولی دو شرط را باید در نظر بگیریم. اول این‌که در جهان واقعی اطلاعات ما کامل نیست. ممکن است زیست‌شناسان در مورد بحث اجداد اتفاق نظر نداشته باشند و به خاطر ناقص بودن اطلاعات مثلاً کامل نبودن فسیل‌ها، این بحث‌ها را مشکل می‌توان به سرانجام رساند. دوباره به این موضوع برمی‌گردیم. دوم این‌که اگر تعداد فسیل‌ها بسیار زیاد باشد با مشکل دیگری مواجه می‌شویم. اگر فقط به جای حیوانات امروزی، بخواهیم همه‌ی حیواناتی را که تاکنون زیسته‌اند در نظر بگیریم، طبقه‌بندی ما دیگر مرز مشخص و مرتبی نخواهد داشت. به این دلیل که هر قدر دو جاندارِ امروزی ما از همدیگر فاصله داشته – مثلاً پرنده و پستاندار باشند – در روزگاری دور یک جد مشترک داشته‌اند. اگر بخواهیم آن نیای مشترک را در طبقه‌بندی امروزمان جا دهیم، ممکن است به مشکلاتی بربخوریم.

وقتی جاندارِ منقرض شده‌ای را در طبقه‌بندی‌مان منظور می‌کنیم، دیگر این قضیه که جاندار واسطی وجود ندارد صادق نیست. برعکس، آن وقت باید درگیر رشته‌ی پیوسته‌ای از موجودات میانی بالقوه شویم. تمایز بین پرنده‌های امروزی و غیرپرنده‌های امروزی، مانند پستانداران، کاملاً آشکار است زیرا آن موجوداتِ میانیِ دورتر که به طرف نیای مشترک به هم نزدیک می‌شوند، همه از بین رفته‌اند. برای

شفاف‌تر کردن موضوع، طبیعت فرضیِ مهربانی را در نظر بگیرید که یک مجموعه کامل از فسیل به ما تقدیم کرده باشد: مجموعه‌ای که در آن فسیل هر جانداری که زمانی زیسته در آن یافت شود. وقتی من از این فرض در فصل قبل صحبت کردم، یادآور شدم که طبیعت از یک نظر نامهربان بوده است، در آن‌جا منظورم اشاره به سختی کار بررسی و توصیف فسیل‌ها بود. اما حالا به جنبه دیگری از آن کنایه به نامهربانی می‌پردازیم. داشتن یک مجموعه کامل از فسیل‌ها کار طبقه‌بندی جانداران را در گروه‌های مشخص و قابل نام‌گذاری بسیار مشکل می‌کند. اگر مجموعه ما کامل بود دیگر نمی‌توانستیم برچسب جداگانه‌ای روی هر کدام بگذاریم و مجبور بودیم از نوعی نشانه‌ی عددی یا تصویری که مقیاس تعدیل‌پذیری داشته باشد استفاده کنیم. ولی ذهن انسان اسم‌های جداگانه را خیلی بیش‌تر ترجیح می‌دهد، بنابراین از این نظر خیلی بهتر است که مجموعه فسیل‌ها کامل نیست.

اگر به جای این‌که فقط جانداران امروزی را در نظر بگیریم، همه‌ی جاندارانی را که تاکنون زیسته‌اند لحاظ کنیم، واژه‌هایی مانند «انسان» و «پرنده» مفاهیم مبهمی می‌شوند. می‌شوند مانند کلمات «بلند» و «چاق» که مرز معنایی خیلی مشخصی ندارند. ممکن است جانورشناسان بر سر این‌که فسیل خاصی به پرنده مربوط باشد یا نباشد بحث‌های بی‌سرانجامی داشته باشند، کما این‌که در مورد فسیل معروف ارکائوپتریکس (Archaeopteryx) واقعاً درگیر چنین مسئله‌ای هستند. دلیل این‌که پرنده یا غیرپرنده بودن موضوع روشن‌تری از «کوتاه» یا «بلند» بودن است فقط این است که در مورد پرنده‌ها همه جانداران میانیِ دردسرساز نابود شده‌اند. اگر طاعون عجیبی آمده بود که به‌طور گزینشی همه آدم‌های دارای قد متوسط را از بین برده بود، آن وقت واژه‌های «قد بلند» و «قد کوتاه» مفاهیم دقیق‌تری پیدا می‌کردند. همان‌طور که حالا معنی «پرنده» و «پستاندار» چنین است.

از بین رفتن جانداران میانی نه‌تنها کارِ طبقه‌بندی جانورشناسان را از یک ابهام ناخوشایند خلاص کرده بلکه به نفع اخلاق و قانون بشری نیز بوده است. نظام قانون

و اخلاق ما کاملاً به نفع گونه‌ی ماست. مدیر یک باغ‌وحش این حق را دارد که شمپانزه‌ی مازاد بر احتیاجی را کنار بگذارد ولی پیشنهاد کنار گذاشتن نگهبان یا بلیط فروشی که مازاد است او را با هیاهو و اعتراض‌های زیادی روبرو می‌کند. شمپانزه جزء اموال باغ‌وحش محسوب می‌شود. امروز انسان‌ها مال کسی نیستند. ولی از این تبعیض فاحشی که در مورد شمپانزه صورت می‌گیرد کمتر بحثی به میان آمده است و بعید می‌دانم که اصلاً منطق قابل دفاعی در پشت آن باشد. روحیات، ملهم از مسیحیت گونه‌پرست ما طوری است که سقط تنها یک تخمک انسان (در هر صورت بیش‌تر تخمک‌ها محکوم به فنا هستند) خشم و نگرانی اخلاقی بیش‌تری به پا می‌کند تا تشریح هر تعداد شمپانزه‌ی بالغ زنده! دانشمندانِ آزادی‌خواه و محترمی را می‌شناسم که اصلاً قصد قطعه‌قطعه کردن شمپانزه زنده را ندارند ولی در صورت لزوم به شدت از این کار خود دفاع می‌کنند و قانون هم در این امر دخالتی نمی‌کند. این افراد کسانی هستند که در کوچک‌ترین تجاوز به حقوق بشر خشم خود را بروز می‌دهند. تنها به این دلیل که همه‌ی موجودات که بین شمپانزه و انسان‌اند از بین رفته‌اند، ما می‌توانیم با چنین معیارهای یک بام و دو هوایی راحت باشیم.

احتمالاً آخرین جد مشترک انسان و شمپانزه همین پنج میلیون سال پیش می‌زیست، کاملاً نزدیک‌تر از جد مشترک شمپانزه و اوران اوتان و شاید سی میلیون سال بعد از جد مشترک شمپانزه و میمون. ما و شمپانزه نود و نه درصد ژن‌هایمان مشترک است. اگر در جزیره‌های مختلف و دور افتاده‌ی جهان، تعدادی از همه موجودات بین شمپانزه و انسان کشف شوند، چه کسی می‌تواند مطمئن باشد قوانین و قراردادهای اخلاقی ما کلاً تغییر نکند، مخصوصاً چون احتمالاً در امتداد این پیوستار، آمیزش‌هایی هم وجود دارد. یا باید به همه‌ی افرادِ این طیف، حقوق بشرِ کامل اعطا شود (رأی به نفع شمپانزه)، یا یک سیستم نژادپرستانه‌ی تمام‌عیار وجود داشته باشد و همچنین محکمه‌هایی که در مورد هر فردِ به‌خصوص از نظر قانونی تصمیم بگیرند که شمپانزه است یا انسان، و انسان‌ها از این‌که دخترشان بخواهد با

یکی از «آن‌ها» ازدواج کند خون‌شان به جوش می‌آید. من تصور می‌کنم جهان بیش از اندازه برای ما مکشوف است که امیدوار باشیم روزی این خیال‌پردازی‌های بی‌پایه به حقیقت بپیوندند. ولی هر کس که حقوق بشر را چیزی بدیهی و آشکار می‌داند باید این فکر را هم بکند که کاملاً شانس آورده که این میانی‌های مایه‌ی دردسر به‌طور اتفاقی از بین رفته‌اند. از طرفی، شاید اگر شمپانزه‌ها تا امروز پیدا نشده بودند، ما امروز به چشم میانی‌های مزاحم به آن‌ها نگاه می‌کردیم.

ممکن است خوانندگانِ فصل قبل بگویند این موضوع که اگر فقط جانداران امروزی در نظر گرفته نشود مرز دسته‌بندی‌ها مشخص نخواهد بود، فرض را بر این می‌گذارد که تکامل سرعت ثابتی دارد و پیشروی آن نقطه‌ای نیست. هر چه تصوری که ما از روند تکامل داریم بیش‌تر به سوی تغییرات ملایم و پیوسته میل کند، درباره‌ی درستی کاربرد واژه‌هایی نظیر پرنده و غیرپرنده یا انسان و غیرانسان برای موجوداتی که تاکنون زیسته‌اند بیش‌تر دچار تردید می‌شویم. یک پرش‌باور افراطی می‌تواند قبول کند که واقعاً موجودی به عنوان انسانِ نخستین وجود داشته که مغز جهش‌یافته‌اش دوبرابر اندازه‌ی مغز پدر و مغز برادرِ شمپانزه‌مانندش بوده است.

آن‌طور که تاکنون دیدیم، طرفداران تعادل نقطه‌ای در بیش‌تر زمینه‌ها پرش‌باور واقعی نیستند. با وجود این، برای آن‌ها مسئله‌ی نامشخص بودن مرز نام‌ها ظاهراً شدت کمتری دارد از آن‌چه از یک دیدگاه پیوسته‌تر دیده می‌شود. حتی برای نقطه‌باورها هم مسئله نام‌گذاری بُروز می‌کرد اگر عملاً از هر موجودی که تاکنون زیسته فسیلی وجود می‌داشت، زیرا اگر به اصل مطلب توجه کنیم نقطه‌باورها هم درواقع تدریج‌گرایند. اما چون آن‌ها فرض را بر این می‌گذارند که احتمال یافتن فسیل‌هایی از تغییرات سریع کوتاه‌مدت وجود ندارد، در حالی‌که احتمال پیدا کردن فسیل‌هایی که سندی از دوره‌های طولانی سکون‌اند زیاد است. «مشکل نام‌گذاری»، از نقطه‌نظر یک نقطه‌باورِ تکامل‌گرا، اهمیت کمتری دارد نسبت به دیدگاه تکامل‌گرایی که نقطه‌باور نیست.

به این دلیل نقطه‌باواران به ویژه *نیلز الدرج*، در این‌که گونه را یک ماهیت واقعی قلمداد کنند اغراق می‌کنند. برای کسی که نقطه‌باور نیست گونه فقط به این دلیل قابل تعریف است که آن جانداران میانی دردسرساز ناپدید شده‌اند. برای یک ضدنقطه‌باورِ افراطی که نگاهی کلی به سرتاسر تاریخ تکامل دارد «گونه» اصلاً یک ماهیت مستقل نیست. آن‌چه او می‌بیند پیوستاری از طرح‌هایی است که روی هم افتاده‌اند. از نظر او یک گونه هرگز آغاز مشخصی ندارد. پایانش هم فقط گاهی مشخص است (وقتی که منقرض شده باشد)؛ اغلب این‌طور نیست که سرنوشت یک گونه قطعاً به انتها برسد، بلکه به تدریج به گونه‌های دیگر تبدیل می‌شود. ولی از دید یک نقطه‌باور، یک گونه در زمان خاصی پیدا می‌شود (دقیقاً یک دوره‌ی انتقال چند ده هزار ساله دارد. گرچه با مقیاس‌های زمین‌شناسی دوره‌ای کوتاه است). به علاوه، از نظر او، گونه چیزی است با پایان مشخص، یا حداقل پایانی دارد که به سرعت شکل می‌گیرد و کامل می‌شود و این‌طور نیست که به صورت تدریجی رنگ ببازد و به چیز دیگری تبدیل شود. از آن‌جا که بیش‌ترِ عمرِ یک گونه، از نظر یک نقطه‌باور، در دوران سکون بدون تغییر می‌گذرد و هر گونه‌ای آغاز و انجام مشخصی دارد، وی به این نتیجه می‌رسد که «طول حیاتِ» گونه، مشخص و قابل اندازه‌گیری است. برای یک شخص غیرنقطه‌باور گونه «طول حیاتی» آن‌چنان‌که برای هر موجود زنده‌ای قابل تصور است ندارد. نقطه‌باورِ افراطی «گونه» را ماهیت مستقلی می‌داند که واقعاً شایستگی داشتن این نام را دارد. از نظر ضدنقطه‌باورِ افراطی، «گونه» بخشی اتفاقی از یک رودخانه‌ی همواره در جریان است و هیچ دلیل خاصی برای اینکه ابتدا و انتهای آن را مشخص کنیم وجود ندارد.

در کتابی که یک نقطه‌باور درباره‌ی تاریخچه‌ی گروهی از حیوانات از جمله تاریخچه‌ی اسب، طی سی میلیون سال گذشته، نوشته باشد، شخصیت‌های داستان همه به جای این‌که جانداری خاص باشند می‌توانند گونه باشند زیرا آن نویسنده‌ی نقطه‌باور گونه‌ها را چیزهای واقعی به شمار می‌آورد که ماهیت عینی دارند. گونه‌ها

به‌طور ناگهانی وارد صحنه می‌شوند و ناگهان ناپدید می‌شوند و جای خود را به گونه‌های دیگر می‌دهند. و داستان، داستان جانشینی‌هاست، زیرا یک گونه می‌رود و گونه‌ای دیگر می‌آید. اما اگر یک ضدنقطه‌باور همین تاریخچه را بنویسد او نام گونه‌ها را چیزی تقریبی و فقط بنا به ضرورت کار محسوب می‌کند و این‌طور نیست که برای گونه‌های هویت مستقلی قائل باشد. وقتی سرتاسر طول زمان را نگاه می‌کند، برایش بازیگران واقعی این نمایش تک‌تک موجودات زنده، در جمعیت‌های دگرگون شونده‌اند. در داستان او هر جاندارِ مستقل جای خود را به جاندار دیگری می‌دهد و این‌طور نیست که گونه‌ای جانشین گونه‌ای دیگر شود. بنابراین عجیب نیست که نقطه‌باوران به این فکر گرایش دارند که نوعی انتخاب طبیعی در سطح گونه صورت می‌گیرد که از نظر آن‌ها قابل مقایسه با انتخابی است که از نظر *داروین* در سطح یک موجود زنده‌ی معمولی صورت می‌گیرد. از آن طرف، غیرنقطه‌باوران سطح کار انتخاب طبیعی را از حد تک‌تک موجودات زنده بالاتر نمی‌بینند. مفهوم «انتخاب گونه» برای آن‌ها مفهوم کم‌رنگی‌تری دارد زیرا آن‌ها گونه‌ها را ماهیت‌هایی دارای طول دوره‌ی حیات در زمان‌های زمین‌شناختی به‌شمار نمی‌آورند.

اکنون وقت مناسبی است که برویم سراغ فرضیه انتخاب گونه که به نوعی باقیمانده از فصل قبل است. در این‌جا وقت زیادی برای آن صرف نمی‌کنم زیرا در کتاب *فنوتیپ گسترش‌یافته* (*Extended phenotype*) تردیدهای خودم را درباره‌ی اهمیت انتخاب گونه در تکامل شرح داده‌ام. درست است که اکثر گونه‌هایی که تاکنون پیدا شده از بین رفته‌اند و همچنین درست است که گونه‌های جدید با سرعتی پیدا می‌شوند که حداقل با میزان انقراض موازنه‌ای ایجاد می‌کنند، به‌طوری‌که همیشه نوعی «خزانه گونه» وجود دارد که عضوهایش همواره در حال تغییراند. عضوگیریِ غیرتصادفیِ خزانه‌ی گونه‌ای و جابه‌جایی غیرتصادفی گونه‌ها از آن، بر اساس اصول نظری می‌تواند حاکی از نوعی انتخاب طبیعی در سطح بالاتر باشد. ممکن است بعضی از ویژگی‌های یک گونه روی احتمال انقراض یا رشد گونه جدیدی

از آن تأثیر داشته باشد. گونه‌هایی که ما در جهان می‌بینیم در درجه اول چیزی دارند که برای وجود داشتن – گونه شدن – ضروری است و همچنین آن‌چه را که برای منقرض نشدن لازم است دارند. اگر بخواهیم می‌توانیم این را نوعی انتخاب طبیعی بنامیم، گرچه از نظر من به یک انتخاب تک مرحله‌ای نزدیک‌تر است تا به انتخاب انباشتی. آن‌چه برای من جای تردید دارد اهمیت این نوع انتخاب در توضیح تکامل است.

شاید این بحث فقط نشان می‌دهد از دیدگاه من چه چیزهایی مهم است. همان‌طور که در ابتدای این فصل گفتم، مقصود من نظریه‌ای است که بتواند ساز و کار تکاملِ چیزهای پیچیده و خوش‌طرحی چون قلب، دست، چشم و مکان‌یاب پژواکی را توضیح دهد. هیچ‌کس، حتی طرفدار پروپاقرص انتخاب گونه‌ای، انتظار ندارد که انتخاب گونه‌ای از پس این کار برآید. از نظر بعضی‌ها، انتخاب در سطح گونه ممکن است بتواند بعضی روندهای درازمدت را در مجموعه‌های فسیلی توجیه کند، مثلاً روند نسبتاً قابل مشاهده‌ی بزرگ شدن جثه را که با گذشت زمان، رخ می‌دهد. همان‌طور که دیدیم اسب‌های امروزی، خیلی درشت‌تر از اجداد سی میلیون سال پیش خود هستند. طرفداران انتخاب گونه‌ای مخالف این نظر هستند که این مسئله ناشی از برتری سازگاری فردی است: آن‌ها در ردیف فسیل‌ها نشانه‌ای از این‌که اسب‌های درشت‌تر از نظر سازگاری موفق‌تر از اسب‌های کوچک‌تر در گونه‌ی خود باشند نمی‌بینند. از دید آن‌ها قضیه چنین است، گونه‌های زیادی یا همان خزانه گونه وجود دارد. در بعضی از این گونه‌ها، اندازه میانگین درشت و در گونه‌ای دیگر کوچک است (شاید به این دلیل که در بعضی گونه‌ها موجوداتِ درشت‌تر بهتر عمل می‌کنند و در بعضی گونه‌ها موجودات ریزتر). احتمال این‌که گونه‌های درشت‌جثه رو به انقراض گذارند کمتر است (یا بیش‌تر احتمال دارد که از میان آن‌ها گونه‌ی جدیدی شروع شود) تا گونه‌های کوچک اندام. بر اساس نظرِ طرفداران انتخاب گونه‌ای، درون گونه‌ها هر چه رخ دهد، روند فسیل‌ها در جهت جثه‌های بزرگ‌تر است به این

دلیل که در توالی گونه‌ها پیشروی تدریجی به سوی جثه‌های بزرگ‌تر وجود دارد. حتی ممکن است در اکثر گونه‌ها به افراد کوچک‌تر برتری داده شده باشد. با این حال توالی روند فسیل‌ها در جهت بزرگ شدن جثه بوده است. به عبارت دیگر انتخاب گونه‌ای می‌تواند به نفع آن گونه‌های اقلیتی باشد که در آن‌ها افراد درشت‌تر برتری داشتند. دقیقاً همین موضوع را *جورج سی. ویلیامز*، از صاحب‌نظران بزرگ نوداروینیسم، مدت‌ها پیش از آن‌که این طرفداران امروزیِ انتخاب گونه‌ای وارد صحنه شوند، مطرح کرده بود و نظر او را طرفداری از شیطان به حساب آورده بودند.

می‌توان گفت در این‌جا، و شاید در همه‌ی موارد انتخاب گونه‌ایِ مطرح شده، روند تکاملی چندانی نداریم، بلکه بیش‌تر یک روند جانشینی داریم، مثل وقتی‌که یک زمینِ رها شده محل تجمع علف‌های کوچک هرزه می‌شود، بعد نوبت گیاهان بزرگ‌تر و درختچه‌ها می‌رسد و سرانجام درختان جنگلی که اوج این روند [هستند] پیدا می‌شوند. به هر حال، چه آن را روند جانشینی چه روند تکاملی بنامیم، ممکن است طرفداران انتخاب گونه‌ای به حق باور داشته باشند که این همان روندی است که آن‌ها، اغلب به عنوان دیرین‌شناس، در لایه‌های متوالی بقایای فسیلی با آن سروکار دارند. اما همان‌طور که گفتیم، هیچ‌کس انتخاب گونه‌ای را توضیح باارزشی برای پیدایش سازگاری‌های پیچیده به حساب نمی‌آورد. دلیلش را بیان می‌کنم.

سازگاری‌های پیچیده در بیش‌ترِ موارد ویژگیِ فرد هستند، نه ویژگیِ گونه. گونه‌ها چشم و قلب ندارند ولی افرادِ گونه‌ها یقیناً این‌ها را دارند. اگر گونه‌ای به دلیل ضعف بینایی رو به انقراض رود، شاید به این معنی باشد که هر فردِ آن گونه به خاطر ضعف بینایی رو به انقراض است. کیفیت دید چشم، ویژگی مربوط به تک‌تک جانداران است. گونه‌ها چه نوع مشخصه‌هایی دارند؟ پاسخ باید مشخصه‌هایی باشد که در بقا و تکثیر آن گونه نقش دارند، و چیزی نیست که بشود آن را حاصل جمع تک‌تک اثر آن‌ها روی بقا و تکثیر تک‌تک افرادِ گونه دانست. گفتم در آن نمونه‌ی فرضی اسب‌ها، احتمال رو به انقراض رفتن گونه‌ی اقلیتی که در آن افراد درشت‌تر برتری

داشتند کمتر از آن گونه‌ی اکثریتی بود که در آن اسب‌های کوچک‌تر برتری داشتند. اما این قضیه تا حدی دور از ذهن است؛ به چه دلیلی باید قابلیت‌های یک گونه چیزی جدا از جمع قابلیت‌های بقای افراد آن گونه باشد.

نمونه‌ی فرضی زیر مشخصه‌های گونه را بهتر نشان می‌دهد. فرض کنید در یک گونه همه‌ی افراد به طریق مشابهی ارتزاق می‌کنند. مثلاً همه‌ی کوآلاها در میان درختان اُکالیپتوس زندگی می‌کنند و فقط برگ‌های اکالیپتوس را می‌خورند. چنین گونه‌ای را می‌توان گونه‌ی یک‌دست (uniform) نامید. در گونه‌ای دیگر ممکن است افراد از نظر شیوه‌ی ارتزاق متفاوت باشند. طوری‌که هر فرد درست مانند کوآلا در کار خود تخصص پیدا کرده باشد ولی در کل آن گونه دارای عادت‌های تغذیه‌ای گوناگون باشد. بعضی افراد غیر از برگ اکالیپتوس چیزی نخورند. بعضی فقط گندم بخورند، بعضی فقط نوعی سیب‌زمینی بخورند و بعضی دیگر فقط پوست درخت زیرفون و بعضی هم چیز دیگر. نام این گونه‌ی نوع دوم را گونه‌ی نایک‌دست (variegated species) می‌گذاریم. فکر می‌کنم حالا تصور شرایطی که در آن گونه‌ی یک‌دست بیش‌تر از گونه‌ی نایک‌دست در معرض نابودی است راحت‌تر باشد. زندگی کوآلاها فقط به موجودی اکالیپتوس وابسته است. یک طاعون اکالیپتوس، چیزی مانند بیماری قارچی مرگ نارون[1] ممکن است گونه آن‌ها را براندازد. از آن طرف، در گونه‌ی نایک‌دست بعضی از افراد از هر طاعون گیاهی جان سالم به در می‌برند و حیات آن گونه ادامه می‌یابد و تصور این‌که از میان گونه‌های نایک‌دست، گونه‌های دختر جدیدی جوانه بزند قابل قبول‌تر از نسبت پیدا شدن آن‌ها از گونه‌های یک‌دست است. شاید نمونه‌های واقعی انتخاب در سطح گونه همین‌ها باشند. برخلاف «نزدیک‌بین بودن» یا «دراز بودن پا»، «یک‌دست» یا «نایک‌دست» بودن از ویژگی‌های مربوط به گونه‌اند. مشکل این‌جاست که مشخصه‌های در سطح گونه محدود و کاملاً انگشت‌شمارند.

---

[1] Dutch elm

دانشمند تکامل‌گرای آمریکایی، *اگبرت لای*[۱]، نظریه‌ی جالبی دارد که می‌شود آن را یک رقیب احتمالی برای انتخاب در سطح گونه در نظر گرفت، گرچه خیلی پیش از این‌که اصطلاح «انتخاب گونه‌ای» رایج شود، مطرح شده بود. *لای* به مسئله‌ی همیشه مطرحِ پیدایشِ رفتار ایثارگرانه در افراد علاقه‌مند بود. او به درستی تشخیص داد که اگر علائق یک نفر با علائق گونه‌اش در تضاد باشد، علائق فرد – علائق کوتاه مدت – چیرگی خواهند یافت. به نظر نمی‌رسد، چیزی بتواند مانع پیشروی ژنِ خودخواه شود. اما *لای* نظر جالب زیر را مطرح کرد. باید نوعی گروه یا گونه وجود داشته باشد که در آن، به‌طور اتفاقی، چیزی که برای فرد بهتر است دقیقاً همانی باشد که به نفع گونه‌اش است. و باید گروه‌های دیگری وجود داشته باشند که در آن‌ها آن‌چه مورد علاقه فرد است کاملاً با علائق گونه در تضاد است. در صورتی که شرایط دیگر یکسان باشند، احتمال نابودی آن گونه از نوع دوم باید بیش‌تر باشد. بنابراین، در صورتی از انتخاب گونه‌ای نه به ایثارگری فردی، بلکه به آن گونه‌ای برتری داده می‌شود که از افرادش نمی‌خواهد از رفاه خود صرف نظر کنند. به این ترتیب می‌توانیم آشکارا رُشد رفتار غیرخودخواهانه افراد را ببینیم. زیرا انتخاب گونه‌ای به نفع گونه‌هایی است که در آن با فداکاری آشکاری به علائق شخصی افراد بها داده می‌شود.

شاید چشمگیرترین مشخصه در سطح گونه مربوط به شیوه‌ی تکثیر باشد، تکثیرِ جنسی در مقابل تکثیر غیرجنسی. به دلایلی که در این‌جا مجال بیانش نیست، تکثیر جنسی، معمای نظری بزرگی را پیش روی نوداروینیست‌ها قرار می‌دهد. سال‌ها پیش *آر. ای. فیشر*، که معمولاً مخالف هر نظری درباره‌ی انتخاب‌های بالاتر از سطح موجود زنده بود، قبول کرد در مورد خاص تکثیر جنسی استثنایی قائل بشود. استدلال او این بود که گونه‌هایی که به صورت جنسی تکثیر می‌شوند، به دلایلی که من باز وارد بحث آن‌ها نمی‌شوم (و خیلی هم شفاف نیستند) می‌توانند سریع‌تر از

---

۱ Egbert Leigh

گونه‌هایی که به‌طور غیرجنسی تکثیر می‌شوند، تکامل یابند. تکامل چیزی است که در گونه‌ها صورت می‌گیرد نه در تک‌تک افراد جاندارد. نمی‌توان از تکاملِ یک موجود زنده صحبت کرد. بنابراین، پیشنهاد *فیشر* این بود که انتخاب در سطح گونه را تا حدی می‌توان دلیل فراوانی تولید مثل جنسی در میان جانداران امروزی دانست. اما اگر این‌طور باشد، موردی که با آن سروکار داریم، یک انتخاب تک‌مرحله‌ای است، نه انتخاب انباشتی.

بر اساس این استدلال، گونه‌های فاقد اندام جنسی در جهت نابودی پیش می‌روند زیرا تکامل آن‌ها آن‌قدر سریع نیست که با تغییرات محیط خود را هماهنگ کنند. گونه‌های جنسی گرایشی به انقراض ندارند زیرا تکامل‌شان سرعت کافی دارد که عقب نمانند. بنابراین آن‌چه دور و بر ما بیش‌تر دیده می‌شود گونه‌های جنسی است. البته، آن «تکاملی» که با سرعتی بین این دو نظام پیش می‌رود، تکامل عادی داروینی است که در سطح افراد و با انتخاب انباشتی صورت می‌گیرد. انتخاب گونه‌ای عملاً باید یک انتخاب تک مرحله‌ای باشد بین دو مشخصه‌ی جنسی و غیرجنسی بودن یا انتخاب بین تکامل کُند و تکامل سریع. همه‌ی تشکیلات جنسی، اعضاء جنسی، رفتار جنسی، دستگاه سلولیِ تقسیم سلول جنسی، بر اساس معیار انتخاب انباشتی داروینی، در سطحی پایین‌تر از انتخاب گونه‌ای، در کنار هم قرار می‌گیرند. در هر صورت، امروز نظر کلی مقابل آن نظریه‌ی قدیمی است که جنسیت توسط نوعی انتخاب در سطح گروه یا گونه تعیین می‌شود.

در مجموع انتخاب گونه‌ای می‌تواند پاسخگوی طرح‌واره گونه‌های موجود در جهان در هر دوره‌ی خاص باشد. همچنین می‌تواند جوابگوی تغییر طرح‌واره گونه‌ها در جابه‌جایی دوران‌های زمین‌شناسی باشد، یعنی تغییر الگو در بقایای فسیلی را توجیه کند. با این حال، در تکامل تشکیلات پیچیده‌ی حیات، تأثیر چندانی ندارد. بیش‌ترین نقشی که می‌تواند داشته باشد این است که بین انواع متفاوت نظام‌های پیچیده‌ای که از قبل با انتخاب داروینی جفت و جور شده‌اند، یکی را انتخاب نماید.

همان‌طور که قبلاً گفتم، احتمالاً انتخاب گونه‌ای رخ می‌دهد ولی به نظر نمی‌رسد نقش چندانی داشته باشد! اکنون دوباره به موضوع رده‌بندی و روش‌های آن برمی‌گردیم.

گفتیم طبقه‌بندیِ شاخه‌ای در مقایسه با طبقه‌بندی کتاب‌دارها این برتری را دارد که در طبیعت فقط یک طرح لانه‌گزینی واقعی و منحصر به فرد وجود دارد که باید آن را کشف کرد. تنها کاری که ما باید انجام دهیم پیدا کردن روش‌های کشف آن است. متأسفانه در این راه عملاً موانعی وجود دارد. برای کسانی که در رده‌بندی تکامل کار می‌کنند، همگرایی در تکامل بیش از همه مایه دردسر است. این پدیده به‌قدری اهمیت دارد که من نیمی از یک فصل را به آن اختصاص داده‌ام. در فصل چهارم دیدیم چگونه بارها و بارها، جاندارانی پیدا شده‌اند که شبیه به جانورانی در دیگر نقاط جهان بوده‌اند بدون این‌که ارتباطی با آن‌ها داشته باشند، و علت همگرایی فقط مشابه بودن روش‌های زندگی‌شان بوده است. مورچه‌های ارتشی قاره‌های اروپا و آمریکا شبیه مورچه‌های راننده قاره‌های آفریقا و آسیا هستند. شباهت‌های تعجب‌آوری بین ماهی‌های برقی آفریقا و جنوب آمریکا وجود دارد در حالی‌که این دو نوع ماهی کاملاً جدا و بدون ارتباط به یکدیگر پیدا شده‌اند، همچنین‌اند گرگ‌های واقعی و تای‌لاسین، گرگ کیسه‌دار تاسمانی. در همه‌ی این موارد من بدون این‌که توجیه کنم فقط تأیید کرده‌ام که این شباهت‌ها همگرایی محسوب می‌شوند: یعنی در جاندارانی که ربطی به هم ندارند، به‌طور جداگانه، پیدا شده‌اند. اما از کجا می‌دانیم که آن جانداران ربطی به هم نداشته‌اند؟ اگر رده‌شناسان شباهت‌ها را ملاکِ سنجش نزدیکی در خویشاوندی قرار می‌دهند، چرا شباهت چشمگیر و بسیار زیادی که هر جفت از این جانداران را به هم نزدیک نشان می‌دهد آن‌ها را گول نزده است؟ یا اگر بخواهیم به صورت‌مسئله شکل نگران‌کننده‌تری بدهیم؛ وقتی رده‌شناسان می‌گویند دو جاندار – مثلاً خرگوش و خرگوش صحرایی – نسبتِ نزدیکی با هم دارند، از کجا بدانیم که آن‌ها گول شباهت و همگرایی زاید آن‌ها را نخورده‌اند؟

این سؤال واقعاً جای تأمل دارد زیرا تاریخچه رده‌بندی پر از مواردی است که در آن رده‌شناسان، نسل‌های قبلی خود را دقیقاً به همین دلیل در اشتباه دانسته‌اند. در فصل ۴ دیدیم یک متخصص آرژانتینی اجداد لیپتوترن‌ها را به اسب‌های واقعی نسبت داده بود در حالی‌که اکنون آن‌ها را همگرا با اسب‌های واقعی به شمار می‌آورند. مدت‌ها خارپشت آفریقایی را در نسبت نزدیک با خارپشت آمریکایی می‌دانستند، اما حالا می‌گویند این دو گروه کاملاً مستقل از یکدیگر این پوشش خاردار را پیدا کرده‌اند. شاید این خارها در هر دو، در این دو قاره جدا از هم، کارآیی یکسانی داشتند. چه کسی می‌تواند ادعا کند که نسل آینده رده‌شناسان باز نظری غیر از این نداشته باشند؟ اگر تکاملِ همگرا این‌طور با زیرکی شباهت‌های فریبنده می‌سازد، چه اطمینانی می‌توان به رده‌بندی‌ها داشت؟ علت اصلی خوشبینی شخص خود من به این قضیه از راه رسیدنِ روش‌های علمی جدید بر اساس زیست‌شناسی مولکولی است.

در فصل‌های قبل، در مجموع دیدیم تمام جانداران و گیاهان و باکتری‌ها هر قدر از نظر ظاهر با هم تفاوت داشته باشند، وقتی وارد بنیاد مولکولی آن‌ها شویم به‌طور حیرت‌آوری هم‌شِکل‌اند. این قضیه عجیب‌ترین صورت خود را در رمز ژنی دارد. فرهنگ واژگان ژنی شامل ۶۴ واژه DNA است که هر کدام از سه حرف تشکیل شده‌اند. هر یک از این کلمه‌ها ترجمه‌ی دقیقی به زبان پروتئین دارد (که یا به صورت یک اسید امینه خاص است یا یک نشانه‌ی نقطه‌گذاری است). این زبان قراردادی است به همان مفهومی که زبان‌های بشری قراردادی‌اند (مثلاً در صداهای واژه‌ی «خانه» چیزی نیست که حاکی از رابطه‌ی آن با یک محل زندگی باشد). یا این فرض، این واقعیت بسیار مهم است که همه‌ی موجودات زنده، علی‌رغم شباهت‌های ظاهری، در سطح ژنی با زبان یکسانی «صحبت می‌کنند». رمز ژن جهانی است. از نظر من، این تقریباً بالاترین دلیل است برای این‌که همه‌ی موجودات زنده تنها از یک جد مشترک پیدا شده باشند. احتمال این‌که بار دیگری نیز چنین فرهنگ لغتی، کاملاً

همانند، پیدا شود بسیار کم است. همان‌طور که در فصل ۶ دیدیم، این احتمال هست که زمانی جاندارانی با زبان ژنیِ متفاوت وجود داشته‌اند ولی اکنون دیگر وجود ندارند. همه‌ی موجودات زنده فعلی، زادگان یک جد مشترک‌اند و از آن جد مشترک واژگان ژنی تقریباً یکسانی، گرچه قراردادی، به ارث برده‌اند. از این نظر یکسان‌اند که تقریباً در هر یک از آن ۶۴ کلمه DNA مانند یکدیگرند.

حالا تأثیر این موضوع را روی رده‌بندی در نظر بگیرید. قبل از دوران زیست‌شناسی مولکولی، جانورشناسان می‌توانستند از خویشاوندی جاندارانی که تا حد زیادی مشخصات کالبدشناختی‌شان مانند هم بود، مطمئن باشند. زیست‌شناسی مولکولی یک‌باره درِ گنجینه‌ی جدیدی از شباهت‌ها در مقابل آن‌ها گشود و داده‌های باارزشی را به اطلاعات ناچیزی که کالبدشناسی و جنین‌شناسی ارائه می‌کرد، افزود. آن ۶۴ ماهیت مشترک («شباهت» واژه‌ی بسیار ضعیفی است) در واژگانی ژنی فقط خط شروع بازی است. رده‌بندی دیگرگونه شده است. چیزی که زمانی حدس مبهم درباره‌ی خویشاوندی بود اکنون تبدیل به آماری نزدیک به یقین شده است.

تقریباً کلمه به کلمه جهانی بودن فرهنگ ژنی، برای رده‌شناس موهبت فوق‌العاده‌ای است. ولی فقط به ما می‌گوید که همه‌ی جانداران خویشاوندند، در مورد این‌که کدام دو حیوان به هم نزدیک‌ترند چیزی نمی‌گوید. اما اطلاعات مولکولی دیگر این را می‌گویند، زیرا در این‌جا به جای همانندی کامل، ما درجات متغیری از شباهت‌ها را می‌بینیم. یادتان باشد حاصل ترجمه‌ی تشکیلات ژنی، مولکول پروتئین است. هر مولکول پروتئین یک جمله است؛ زنجیره‌ای است از واژه‌های اسید امینه آن فرهنگ لغت. ما می‌توانیم این جمله را به شکل اصلی یعنی به صورت DNA یا به شکل ترجمه شده یعنی به صورت پروتئین بخوانیم. گرچه همه‌ی موجودات زنده در این واژگانِ یکسان مشترک‌اند، ولی همه از این واژه‌ها، جمله‌های یکسانی نمی‌سازند. و این برای ما فرصتی فراهم می‌آورد که درجاتِ متفاوتِ خویشاوندی را بشناسیم. جمله‌های پروتئین گرچه در جزئیات با هم تفاوت دارند، اغلب در طرح

کلی مشابه یکدیگرند. در هر دو موجود زنده‌ای می‌توان جمله‌هایی یافت که آشکارا روایت‌های همان جمله اجدادی باشند البته با کمی تحریف. ما قبلاً چنین چیزی را در مورد تفاوت مختصری که بین توالی هیستون گاو و نخود وجود دارد دیدیم.

حالا که رده‌شناسان می‌توانند جمله‌های مولکولی را دقیقاً با هم مقایسه کنند، درست همان‌طور که می‌توان استخوان جمجمه‌ها یا ران‌ها را مقایسه کرد. جمله‌های پروتئین یا DNAی خیلی شبیه به هم را می‌توان از آنِ عموزادگان نزدیک دانست، جمله‌های با تفاوت بیش‌تر به عموزادگان دورتر تعلق دارد. همه‌ی این جمله‌ها از همان فرهنگ لغت جهانی که بیش از ۶۴ واژه ندارد، تشکیل شده است. زیباییِ زیست‌شناسی مولکولی جدید در این است که ما می‌توانیم با آن، تفاوتِ بین جانداران را به دقت اندازه بگیریم، همان طوری‌که می‌توان در جمله تعداد دقیق واژه‌ها را اندازه گرفت و دید با آن تعداد چگونه روایت‌های گوناگونی از یک جمله‌ی خاص ممکن است ساخته شود. در آن فضای ژنیِ فصل ۳ حداقل با در نظر گرفتن یک مولکول پروتئین خاص، می‌توانیم دقیقاً اندازه بگیریم چند گام یک جاندار را از جاندار دیگر جدا می‌کند.

بر اساس یک مکتب تأثیرگذار متخصصان ژنتیک، «بی‌طرف‌ها» (neutralists) (در فصل آینده آن‌ها را ملاقات می‌کنیم)، امتیاز دیگر استفاده از توالی مولکولی در رده‌شناسی این است که بیش‌تر تغییرات تکاملی که در سطح مولکول صورت می‌گیرد خنثی است. یعنی حاصل انتخاب طبیعی نیست، بلکه تا حد زیادی تصادفی است و بنابراین دیگر آن همگراییِ مایه‌ی دردسر حضور ندارد که باعث گمراه کردن رده‌شناس شود، مگر در مواردی که اتفاقاً از روی بدشانسی باشد. یک واقعیت مربوط به این مطلب، همان‌طور که قبلاً دیده‌ایم، این است که به نظر می‌رسد در گروه‌های بسیار متنوع جانوران هر یک از افراد یک نوع مولکول با سرعت کم و بیش یکسانی تکامل می‌یابند. این یعنی تفاوت‌های بین مولکول‌های مورد مقایسه در دو جاندار، مثلاً سیتوکروم انسان و سیتوکروم گراز آفریقایی، سنجه‌ی

مناسبی است برای اندازه‌گیری مدت زمانی که از زندگی جد مشترک آن‌ها تا حالا طول کشیده است. درواقع ما یک «ساعت» نسبتاً دقیق مولکولی داریم. ساعت مولکولی این امکان را به ما می‌دهد که نه فقط نزدیک‌ترین اجداد مشترک بین دو جانور را پیدا کنیم بلکه برآورد کنیم آن اجداد مشترک تقریباً چه زمانی می‌زیسته‌اند.

در این‌جا ممکن است خواننده از این تناقض به حیرت بیفتد. تمام این کتاب روی اهمیت بی‌چون و چرای انتخاب طبیعی تأکید می‌کرد. حالا چگونه می‌توانیم روی تصادفی بودن تغییرات تکاملی در سطح مولکول اصرار بورزیم. با پیش کشیدن موضوع فصل ۱۱، درباره‌ی پیدایش سازگاری‌ها که موضوع اصلی این کتاب است، واقعاً هیچ جای بحث وجود ندارد. حتی آن «بی‌طرف» پُر حرارت هم این‌طور تصور نمی‌کند که عضو فعال و پیچیده‌ای، چون چشم یا دست از تغییرهای اتفاقی پیدا شده باشد. هر زیست‌شناس معقولی قبول دارد که این‌ها باید از طریق انتخاب طبیعی پیدا شده باشند. زیرا هر بی‌طرف – به نظر من به درستی – فکر می‌کند که چنین سازگاری‌هایی فقط نوک کوه یخی و ظاهر قضیه‌اند: احتمالاً قسمت اعظم تغییرات تکاملی، وقتی در سطح مولکولی در نظر گرفته شوند، نقش عملی ندارند.

اگر ساعت مولکولی واقعیت داشته باشد و ظاهراً هر نوع مولکول با سرعتی کم و بیش خاصِ خود طی میلیون‌ها سال تغییر کند، ما می‌توانیم از این ساعت برای تعیین زمان انشعاب شاخه‌های درخت تکاملی استفاده کنیم و اگر واقعیت این باشد که بیش‌تر تغییرات تکاملی در سطح مولکول خنثی است، باید این اطلاع را چشم‌روشنی بی‌نظیری برای رده‌شناسان دانست. زیرا معنی آن این است که می‌توان با استفاده از سلاح آمار، مسئله همگرایی را جمع کرد و کنار گذاشت. در هر سلول یک جاندار، حجم زیادی از متون ژنی وجود دارد، که بنا بر فرضیه بی‌طرف‌ها بیش‌تر این متون ربطی به مناسب کردن آن موجود با روش خاص زندگی‌اش ندارد؛ متنی است که تا حد زیادی انتخاب در آن دخالت نداشته و جز در موارد کاملاً اتفاقی، تحت تأثیر تکامل همگرا نیست. این اتفاقی که دو قطعه بزرگ انتخاب شده از دو

متن خنثی به‌طور شانسی بسیار به هم شبیه باشند، در عمل بسیار نـادر اسـت. از آن بهتر، سرعت ثابت داشتن تکامل مولکـولی درواقـع ایـن امکـان را بـه مـا می‌دهـد کـه نقطه‌های انشعاب را در تاریخ تکامل مشخص کنیم.

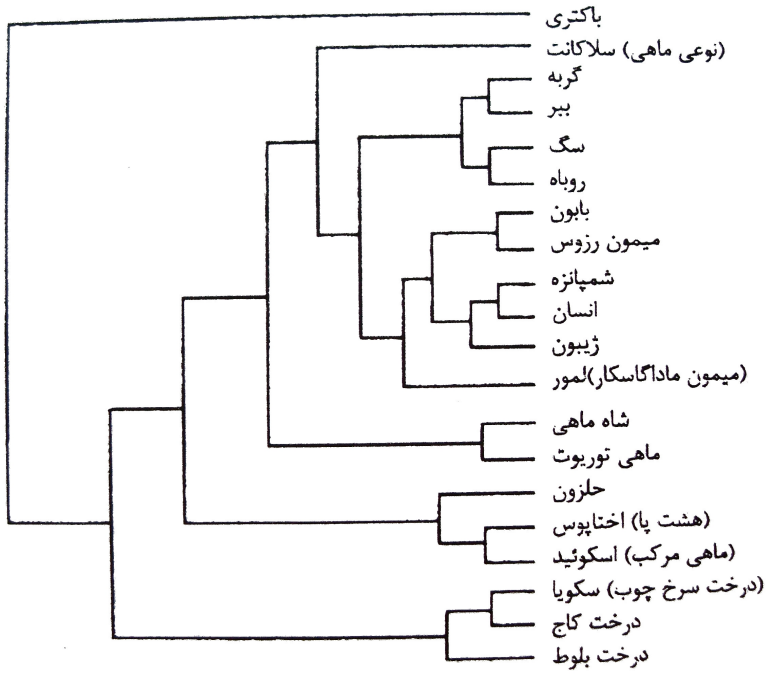
نباید خیلی راحت درباره‌ی توان فوق‌العاده‌ای که تکنیک‌های جدید خواندن توالی مولکولی‌ها به انبار مهمات رده‌شناسـان بخشـیده‌اند، اغـراق کـرد. این‌طـور نیسـت کـه همه‌ی جمله‌های مولکولی در همه‌ی جانداران تاکنون رمزگشایی شده باشند، اما دیگـر می‌توان وارد کتابخانه شد و شیوه‌ی نگارش جمله‌هـای هموگلـوبین آلفـای مثلاً سـگ، کانگورو، مورچه‌خوار تیغی، جوجه، افعی، سمندر آبی، ماهی کپور و انسان را دقیقـاً، کلمه به کلمه و حرف به حـرف دیـد. این‌طـور نیسـت کـه همه‌ی جانـداران هموگلـوبین داشته باشند، اما پروتئین‌های دیگری مانند هیستون، وجود دارد که صـورتی از آن در هر گیاه یا حیوان یافت می‌شود و اکنون می‌تـوان بسـیاری از آن‌هـا را در آن کتابخـانه یافت. این سنجش‌ها مانند اندازه‌گیری طول پا یا عرض جمجمـه، انـدازه‌های مبهمـی نیستند که احتمالاً در ارتباط با میزان سن یا وضع سـلامت در نمونه‌هـای مختلـف بـا هم فرق داشته باشند یا حتی میزان بینایی سنجش‌کننده روی نتیجه اثر بگذارد. آن‌هـا دقیقاً روایت‌های گوناگونی از یک جمله‌انـد و همـه بـه یـک زبـان هسـتند به‌طـوری‌که می‌شود آن‌ها را کنار یکدیگر گذاشته و بـا هـم مقایسـه کـرد، بـا همـان بـاریک‌بینی و وسواسی که یک محقق موشکافِ زبان یونـانی، دو انجیـلِ مختلـفِ نوشـته شـده روی پوست را با هم مقایسه می‌کند. رشته‌های DNA، همه سندهای انجیل حیات‌اند و مـا می‌دانیم چگونه آن‌ها را رمزگشایی کنیم.

فـرض اصـلی متخصـص رده‌بنـدی بـر ایـن اسـت کـه خویشـاوندان نزدیـک، روایت‌های‌شـان از یـک جمله مولکـولی خـاص بـه هـم شـباهت بیش‌تـری نسـبت بـه روایت‌هـای خویشـاوندان دور دارد. نـام ایـن را «اصـل صـرفه‌جویی»[۱] نهاده‌انـد. صرفه‌جویی نام دیگری برای مقرون به صرفه بودن در امور اقتصادی است. بـا فـرض

۱ Parsimony principle

بر این‌که جمله‌ی گروهی از جانداران، از جمله آن هشت جانور پاراگراف قبل را می‌دانیم، از میان همه‌ی نمودارهای ممکن که آن هشت جاندار را به هم ربط می‌دهد، باید پیدا کنیم کدام یک از همه اقتصادی‌تر است. اقتصادی‌ترین درخت، آن درختی است که از نظر فرض‌هایش از همه صرفه‌جوتر باشد، به این معنی که حداقل تعداد تغییر واژه را در تکامل لحاظ کند و کمترین مقدار همگرایی را داشته باشد. به دلیل کاملاً نامحتمل بودن همگرایی، کمترین مقدار ممکن را برای آن لحاظ می‌کنیم. به ویژه اگر بیش‌تر تکامل مولکولی خنثی باشد، احتمال ندارد که دو جاندار کاملاً بی‌ربط به هم، ناگهان به توالی واژه به واژه و حرف به حرف کاملاً یکسانی برسند.

اگر سعی کنیم همه‌ی درخت‌های ممکن را در نظر بگیریم، از نظر محاسبه با مشکلاتی روبه‌رو می‌شویم. وقتی فقط سه جاندار برای رده‌بندی داشته باشیم، تعداد درخت‌های ممکن سه تا است. یا A به B می‌پیوندد و C کنار می‌رود، یا A و C با هم هستند و B کنار است، یا B و C با هم هستند و A کنار است. همین محاسبه را می‌توان در مورد تعداد بیش‌تری از حیوانات برای طبقه‌بندی‌شان انجام داد ولی تعداد درخت‌های ممکن فوق‌العاده زیاد می‌شود. وقتی فقط ۴ جاندار در نظر بگیریم، تعداد کل درخت‌های خویشاوندی ۱۵ تا و هنوز قابل کنترل است. برای محاسبه‌کننده تعیین کردن این‌که کدام یک از این ۱۵ تا صرفه‌جوتر است وقت زیادی نمی‌گیرد. اما اگر بیست حیوان را در نظر بگیریم، برآورد من از تعداد درخت‌های ممکن ۸,۲۰۰,۷۹۴,۵۳۲,۶۳۷,۸۹۱,۵۵۹,۳۷۵ است (شکل ۹ را ببینید). محاسبه کرده‌اند که برای پرسرعت‌ترین کامپیوترهای امروزی ۱۰,۰۰۰ میلیون سال، تقریباً به اندازه‌ی عمر گیتی، طول می‌کشد تا صرفه‌جوترین درخت را برای ۲۰ حیوان ناقابل پیدا کند. و اغلب رده‌شناسان باید این درخت را برای بیش از بیست حیوان ترسیم کنند.



شکل ۹. این شجره‌ی خانوادگی درست است. غیر از این ۸,۲۰۰,۷۹۴,۵۳۲,۶۳۷,۸۹۱,۵۵۹,۳۷۵ راه دیگر برای رده‌بندی این موجودات وجود دارد که همگی نادرستند.

گرچه متخصصان رده‌بندی مولکولی اولین کسانی بودند که متوجه مسئله انفجار اعداد شدند ولی این مشکل در رده‌بندی غیرمولکولی نیز وجود داشته است. ولی متخصصان رده‌بندی غیرمولکولی با استفاده از حدس‌های شهودیِ خود از کنار آن گذشته‌اند. از همه‌ی درخت‌های خانوادگیِ ممکن، تعداد بسیار زیادی را می‌شود بلافاصله کنار گذاشت – مثلاً تمام آن میلیون‌ها درختِ قابل تصوری که در آن‌ها انسان به کرم خاکی نزدیک‌تر قرار می‌گیرد تا شمپانزه. متخصصان رده‌بندی اصلاً زحمت در نظر گرفتن این درخت‌های خویشاوندی بی‌معنی را به خود نمی‌دهند، در عوض وقت خود را صرف تعداد نسبتاً محدودی از درخت‌ها می‌کنند که با تصورات

ما تناسب دارند. شاید این کار عاقلانه باشد، با این حال همیشه این خطر وجود دارد که درختی که به واقع از همه صرفه‌جویانه‌تر است یکی از همان‌هایی باشد که کنار گذاشته‌ایم. کامپیوتر را هم می‌شود طوری برنامه‌ریزی کرد که با رفتن از راه‌های کوتاه‌تر، مسئله آن اعداد بسیار بزرگ را با بزرگواری خود تخفیف دهد.

اطلاعات مولکولی آن‌قدر غنی است که ما می‌توانیم رده‌بندی را چندین بار جداگانه برای پروتئین‌های مختلف انجام دهیم. بعد، از نتیجه‌هایی که از بررسی یک مولکول گرفته‌ایم به عنوان سنجه‌ای برای کنترل نتیجه‌ی بررسی روی مولکول دیگری استفاده کنیم. اگر نگران باشیم مبادا داستانی که یک مولکول پروتئین می‌گوید واقعاً با همگرایی اشتباه گرفته شده باشد، می‌توانیم آن را بلافاصله با نگاه کردن به مولکول پروتئین دیگری بررسی کنیم. تکاملِ همگرا درواقع نوع خاصی از تصادف است. ویژگی این تصادف این است که گرچه یک بار رخ می‌دهد ولی احتمال تکرار آن بسیار کم است. و احتمال رخ دادن آن برای بار سوم از آن هم بسیار کمتر است. با بررسی تعداد هرچه بیش‌تری از مولکول‌های پروتئین، می‌توانیم موارد تصادفی را حذف کنیم.

برای مثال، در مطالعه‌ای که گروهی از زیست‌شناسانِ *زلاند نو* انجام داده‌اند، یازده جاندار، نه یک بار بلکه پنج بار جداگانه رده‌بندی شدند و هر بار از یک مولکول پروتئین خاص استفاده شد. آن یازده جاندار، گوسفند، میمون رزوس، اسب، کانگورو، موش صحرایی، خرگوش، سگ، خوک، انسان، گاو، و شمپانزه بودند. ابتدا پروتئینی را در نظر گرفتند و بر اساس آن نمودار درختیِ ارتباط بین حیوانات را رسم کردند و می‌خواستند ببینند آیا با در نظر گرفتن یک پروتئین دیگر هم به همان نتیجه می‌رسند. بعد این کار را برای پروتئین سوم و چهارم و پنجم هم انجام دادند. طبق اصول نظری اگر نظریه‌ی تکامل صادق نبود، باید برای هر یک از پنج پروتئینِ مثالی، درخت‌های ارتباطی کاملاً متفاوتی به دست می‌آمد.

همه‌ی این پنج پروتئین، توالی‌شان در کتابخانه موجود بود تا بررسی شود. برای یازده جاندار، ۶۵۴,۷۲۹,۰۷۵ درخت رابطه باید در نظر گرفت و از روش کوتاه‌ترین مسیر استفاده کرد. برای هر یک از این پنج مولکول پروتئین، کامپیوتر مقرون به صرفه‌ترین درخت رابطه را رسم کرد. به این ترتیب پنج تا از بهترین حدس‌های مستقل از هم در مورد درخت رابطه‌ی درست بین این یازده حیوان را در اختیار ما گذاشت. شسته‌رُفته‌ترین نتیجه‌ای که می‌توانستیم انتظار داشته باشیم این بود که همه‌ی این پنج درختِ تخمینی، همانند یکدیگر باشند. درواقع بسیار بعید است فقط از روی شانس به چنین نتیجه‌ای رسید. عدد احتمال آن بعد از صفر و ممیز اعشار ۳۱ صفر دارد. اگر به چنین نتیجه‌ی تمام و کمالی نرسیم عیجب نیست: باید برای کمی همگرایی در تکامل و اتفاق جایی در نظر بگیریم ولی اگر بین درخت‌های متفاوت اختلاف زیادی وجود داشته باشد باید نگران شویم. حقیقت این است که آن پنج درخت کاملاً یکسان از آب در نیامدند، اما خیلی شباهت داشتند. تمام این پنج مولکول، انسان و شمپانزه و میمون را نزدیک هم قرار دادند ولی در مورد این‌که کدام حیوان‌ها بعد از این سه تا قرار می‌گیرند اتفاق‌نظر وجود نداشت. هموگلوبین B می‌گوید سگ قرار می‌گیرد؛ فیبرینوپپتید B (fibrinopeptide) می‌گوید موش صحرایی است؛ فیبرینوپپتید A می‌گوید گروهی شامل موش صحرایی و خرگوش است؛ هموگلوبین A می‌گوید گروهی شامل موش صحرایی، خرگوش و سگ است.

ما با سگ یک جد مشترک خاص و با موش صحرایی جد مشترک دیگری داریم. هر یک از این دو جد در لحظه‌ی خاصی از زمان گذشته، واقعاً وجود داشته‌اند. یکی از آن‌ها باید مقدم بر دیگری بوده باشد. پس یا هموگلوبین B یا فیبرینوپپتید B باید در برآوردش از رابطه‌ی تکاملی اشتباه کرده باشد. همان‌طور که گفتم این اختلاف‌های جزئی نباید ما را زیاد نگران کند. ما تا حدی انتظار همگرایی و تصادف را داریم. اگر واقعاً به سگ نزدیک‌ترین باشیم، پس یعنی از نظر فیبرینوپپتید B ما و موش صحرایی نسبت به هم همگرایی داشته‌ایم. اگر درواقع به موش صحرایی نزدیک‌تر

باشیم، به این معنی است که ما و سگ از نظر هموگلوبین B، نسبت به یکدیگر همگرایی داشته‌ایم. با نگاه کردن به وضعیت یک مولکولِ دیگر می‌توانیم حدس بزنیم احتمال کدام یک از این دو وضع بیش‌تر است. اما من دیگر این بحث را ادامه نمی‌دهم: اصل مطلب را بیان کرده‌ام.

قبلاً گفتم رده‌بندی از همه‌ی شاخه‌های زیست‌شناسی جدلی‌تر و مسئله‌دارتر است. *استفان گولد* آن را خوب تعریف کرده است: «نام و نزاغ»[۱]. ظاهراً متخصصان رده‌بندی نسبت به مکتب فکری خود تعصب دارند، همان‌طور که در علوم سیاسی یا اقتصاد دیده می‌شود، نه آن‌طور که در علوم آکادمیک دانشگاهی مرسوم است. پیداست که اعضاء یک مکتب خاص رده‌بندی خود را مانند مسیحیان نخستین گروهی از برادران محاصره شده و عذاب‌کشیده می‌دانند. من اولین بار وقتی به این موضوع پی بردم که یکی از متخصصان رده‌بندی آشنا با چهره‌ای رنگ پریده از ترس، به من خبر داد که فلان شخص (مهم نیست چه کسی بود) «به طرف شاخه‌گرها رفته است».

توضیح مختصری که از مکاتب رده‌بندی در ادامه می‌آید ممکن است بعضی از اعضای آن مکاتب را برنجاند، ولی نه بیش‌تر از حدی که آن‌ها خودشان همدیگر را به خشم می‌آورند بنابراین مطلب زیاد نابه‌جا نیست. متخصصان رده‌بندی بر حسب فلسفه‌ی بنیادی‌شان، در دو اردوگاه جداگانه قرار می‌گیرند. در یک طرف کسانی هستند که درباره‌ی این‌که هدف‌شان آشکارا کشف روابط تکاملی است تردیدی به خود راه نمی‌دهند. برای آن‌ها (و برای من) درختِ خوبِ رده‌بندی، درخت خویشاوندیِ روابط تکاملی است. وقتی کسی کار رده‌بندی انجام می‌دهد، از همه‌ی روش‌های ممکن استفاده می‌کند تا در مورد نزدیکی خویشاوندی جانداران به بهترین حدس ممکن دست یابد. معلوم نیست چه نامی باید روی این متخصص‌های رده‌بندی بگذاریم زیرا اسم مناسب آن‌ها یعنی «متخصصان رده‌بندی تکاملی» را،

[۱] Names and nastiness

زیرشاخه‌ای از یک مکتب فکری دیگر غصب نموده است. گاهی آن‌ها را «نژادشناس» (phyleticist) می‌نامند. این فصل را تا این‌جا از دیدگاه یک نژادشناس نوشته‌ام.

اما بسیاری از متخصصان رده‌بندی مسیر دیگری را طی می‌کنند، دلیل‌شان هم معقول است. با این‌که احتمالاً آن‌ها هم قبول دارند که هدفِ نهایی رده‌بندی یافتن روابط تکاملی است، ولی اصرار دارند که کار رده‌بندی را جدا از آن نظریه‌ای – احتمالاً نظریه‌ی تکامل – که منجر به الگوی شباهت‌ها شده است، نگه دارند. این متخصصان رده‌بندی طرح‌های مشابه را جداگانه بررسی می‌کنند. آن‌ها درباره‌ی این‌که مسئله طرح‌های شبیه به هم حاصل تاریخ تکامل است یا شباهت نزدیک، حاصل از خویشاوندی نزدیک است، پیش‌داوری خاصی ندارند. ترجیح می‌دهند رده‌بندی‌شان را تنها با استفاده از الگوهای شبیه به هم انجام دهند.

یک مزیت این روش این است که اگر هر تردیدی در مورد درستی تکامل داشته باشید، می‌توانید آن را با استفاده از طرح‌های مشابه محک بزنید. اگر تکامل حقیقت داشته باشد، شباهت بین جانداران باید بر اساس طرح‌های قابل پیش‌بینی معینی باشد، مخصوصاً طرح لانه‌گزینی سلسله‌مراتبی. اگر تکامل حقیقت نداشته باشد، خدا می‌داند انتظار چه طرحی را باید داشته باشیم، اما دلیل روشنی وجود ندارد که بر اساس آن انتظار طرح لانه‌گزینی سلسله‌مراتبی را داشته باشیم. این مکتب تأیید می‌کند که اگر شما در سراسر رده‌بندیِ خود، تکامل را لحاظ کنید، دیگر از نتیجه‌ی کار رده‌بندی نمی‌توانید برای تأیید درستی تکامل استفاده کنید: این یک استدلال چرخه‌ای است. این استدلال در صورتی کارآمد خواهد بود که همه در مورد واقعیت تکامل کاملاً در تردید باشند. باز هم برای یافتن نام مناسب برای این دومین مکتب فکری رده‌بندی مشکل داریم. من نام آن‌ها را «تشابه‌سنج‌های خالص»[۱] می‌گذارم.

---

۱ Pure-resemblance measurers

نژادشناس‌ها، آن متخصصان رده‌بندی که صراحتاً سعی می‌کنند روابط تکاملی را کشف کنند، باز به دو مکتب فکری تقسیم می‌شوند. این‌ها یا شاخه‌گرایانی هستند که پیرو اصول کتاب معروف *ویلی هینگر*[۱]، *طبقه‌بندی نژادی*، هستند یا متخصصان رده‌بندی سنتی تکاملی‌اند. دل مشغولی شاخه‌گراها انشعاب است. برای آن‌ها هدف رده‌بندی، کشف ترتیب جدا شدن دودمان‌ها از یکدیگر در زمان‌های مربوط به تکامل است. برای آن‌ها مهم نیست که آن دودمان‌ها بعد از انشعاب چه اندازه، کم یا زیاد، تغییر کرده باشند. تفاوت اصلی متخصصان رده‌بندی سنتی تکامل (فکر نکنید این عنوان برای دست‌کم گرفتن آن‌ها به کار رفته است) با شاخه‌گراها در این است که دل‌مشغولی آن‌ها تنها انشعابات تکامل نیست. آن‌ها کمیت تغییرات حین تکامل را نیز در نظر می‌گیرند و این‌طور نیست که فقط شاخه‌ها مورد توجه باشند.

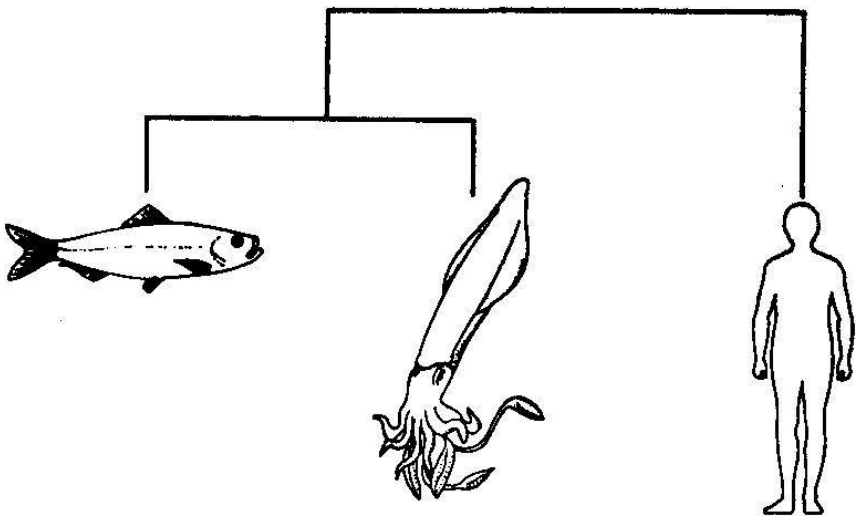
شاخه‌گراها از ابتدای کار با شاخه‌ها سروکار دارند. در حالت آرمانی کار را با همه‌ی شاخه‌های احتمالی درخت جاندارانی که با آن‌ها سروکار دارند شروع می‌کنند (هر شاخه‌ی درخت فقط به دو شاخه تقسیم می‌شود – چون بالاخره حوصله هر کس هم حدی دارد!). همان‌طور که هنگام بحث از رده‌بندی مولکولی دیدیم، اگر بخواهیم جانداران زیادی را دسته‌بندی کنیم کار مشکلی است زیرا شمار درخت‌های ممکن به‌طور سرسام‌آوری زیاد می‌شود. اما باز همان‌طور که دیدیم، راه‌های میان‌بُر و تخمین‌های کارآمد وجود دارد و انجام این نوع رده‌بندی را عملاً ممکن می‌سازد.

اگر به فرض بخواهیم فقط سه جاندار، اسکوئید، شاه ماهی، و انسان را طبقه‌بندی کنیم تنها سه حالت دو شاخه‌ایِ زیر ممکن است وجود داشته باشد:

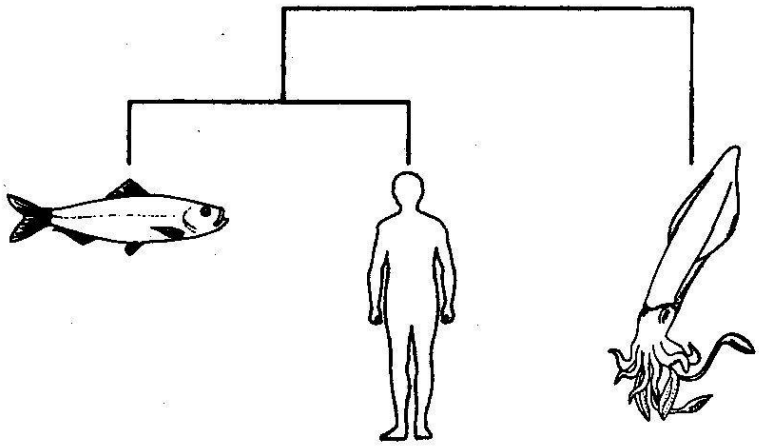
۱- اسکوئید و ماهی به هم نزدیک‌ترند، انسان خارج از گروه آن‌هاست.

---

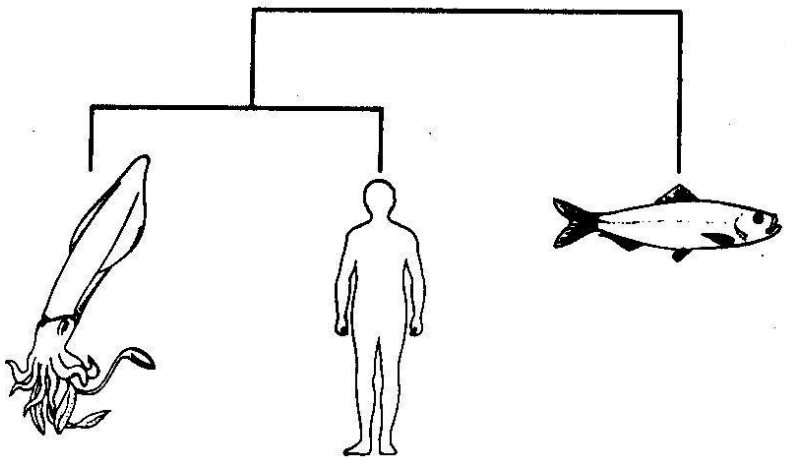
۱ Willi Hennig's



۲- انسان و ماهی به هم نزدیک‌ترند. اسکوئید خارج از گروه آن‌هاست.



۳- انسان و اسکوئید به هم نزدیک‌ترند. ماهی خارج از گروه آن‌هاست.



کلادیست‌ها هر یک از این سه وضع را به ترتیب در نظر می‌گیرند و بهترین درخت را انتخاب می‌کنند. چگونه می‌توان بهترین درخت را تشخیص داد؟ در کل، درخت، جاندارانی که مشخصه‌های مشترک بیش‌تری دارند را به هم ربط می‌دهد. جانداری که بیرون از گروه است، مشخصه‌های مشترک کمتری با آن دو دارد. از سه درخت بالا، درخت دوم ترجیح داده می‌شود زیرا انسان و ماهی مشخصه‌های مشترک بیش‌تری دارند تا اسکوئید و ماهی یا انسان و اسکوئید. اسکوئید خارج از گروه است و ویژگی مشترک زیادی با آدم یا ماهی ندارد.

درواقع، داستان به این سادگی هم نیست که فقط مشخصه‌های مشترک را شمارش کنیم، زیرا بعضی از انواع مشخصه‌ها عمداً کنار گذاشته می‌شوند. شاخه‌گراها بیش‌تر به ویژگی‌هایی که اخیراً تکامل یافته‌اند، اهمیت می‌دهند. مثلاً آن ویژگی‌های اولیه، که همه پستانداران از اولین پستاندار به ارث برده‌اند، به درد طبقه‌بندی درونِ گروه پستاندارن نمی‌خورد. روشی که برای معین کردن ویژگی‌های قدیم و جدید جانداران به کار می‌برند جالب ولی خارج از گستره‌ی این کتاب است. در این‌جا مهم است که فراموش نکنیم که یک شاخه‌گرا، حداقل در اصول نظری، معتقد است که باید همه‌ی درخت‌های دو شاخه شونده‌ی ممکن را که مجموعه‌ی

حیوانات مورد نظر او را به هم ربط می‌دهد در نظر بگیرد و سعی کند آن یک درخت درست را انتخاب کند. یک شاخه‌گرای واقعی در مورد این‌که درخت‌های شاخه‌شاخه شده یا «ملادوگرام‌ها»[۱] را شجره‌ی خانواده یا درخت‌های رابطه خویشاوندی تکامل می‌داند، تردیدی ندارد.

اگر در حالت افراطی، تنها دل‌مشغولی، دقت در شاخه‌ها باشد، به نتیجه‌های عجیبی می‌رسیم. ممکن است بر اساس اصول نظری، یک گونه از هر نظر به پسر عموی دورش شباهت داشته ولی با پسرعموی نزدیکش تفاوت زیادی داشته باشد. برای مثال دو نوع ماهی شبیه هم را در نظر بگیرید، ما آن‌ها را یعقوب و عیسو[۲] می‌نامیم. این‌ها ۳۰۰ میلیون سال پیش زندگی می‌کردند. هر یک از این دو ماهی دودمانی از زادگان داشتند که تا به امروز هم ادامه دارند. دودمان عیسو بدون تغییر ماند. آن‌ها به زندگی در اعماق دریا ادامه دادند و تکامل نیافتند. نتیجه این شد که امروز زادگان عیسو شبیه خود عیسو و بنابراین شبیه خود یعقوب‌اند. زادگان یعقوب تکامل یافته و به سرعت زیاد شدند. و در نهایت باعث پیدایش همه‌ی پستانداران امروزی شدند. اما یک تبار از زادگان یعقوب همچنان بی‌تغییر در ته دریا باقی ماندند و زادگانی تا به امروز دارند. فرزندان امروزی آن‌ها خیلی به عیسوهای امروزی شباهت دارند به‌طوری‌که تشخیص آن‌ها از هم دشوار است.

حالا این جانداران را چگونه باید طبقه‌بندی کنیم؟ متخصصان رده‌بندی سنتی تکامل شباهت‌های زیادی بین زادگان ابتدایی یعقوب و عیسو در ته دریا می‌بینند و آن‌ها را در یک رده قرار می‌دهند. شاخه‌گرایانِ پُر وسواس نمی‌توانند این کار را بکنند. زادگان یعقوب در اعماق دریا، از هر نظر درست شبیه به زادگان عیسو در اعماق دریا هستند، با وجود این از نظر خویشاوندی به پستانداران نزدیک‌ترند. جد مشترک زادگان یعقوب گرچه فقط کمی نزدیک‌تر به زمان حال زیسته‌اند ولی نسبت

---

۱ Cladograms

۲ Jacob and Esau، عیسو برادر دوقلوی یعقوب است.

به جد مشترک زادگان عیسو به پستانداران نزدیک‌ترند بنابراین باید آن‌ها را با پستانداران در یک دسته قرار داد. ممکن است غیرمعمول باشد ولی خود من با آرامش این قضیه را می‌پذیرم. لااقل منطقی و روشن است. درواقع هم در طبقه‌بندی سنتی و هم در شاخه‌گرایی نکات مثبتی هست و تا وقتی‌که کار واضح و شفاف باشد مهم نیست که از کدام روش استفاده می‌کنیم.

حالا برگردیم به آن مکتب فکری مهم دیگر یعنی «تشابه‌سنج‌های خالص»، آن‌ها را هم می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. این هر دو دسته در این‌که در کارهای روزانه‌ی رده‌بندی خود تکامل را باید از ذهن، دور نگه‌دارند اتفاق نظر دارند. اما در این‌که از چه روشی برای کارهای رده‌بندی روزانه خود استفاده کنند مانند هم نیستند. زیرشاخه‌ای از این متخصصان رده‌بندی گاهی pheneticists نامیده می‌شوند و گاهی «متخصص رده‌بندی عددی»[۱]، من نام آن‌ها را «میانگین‌سنج‌ها»[۲] گذاشته‌ام. آن دسته‌ی دیگر از این تشابه‌سنج‌های خالص خود را «شاخه‌گرای تغییر شکل یافته»[۳] نامیده‌اند. این نام با مسمایی برای آن‌ها نیست زیرا تنها چیزی که نیستند شاخه‌گرا بودن است. وقتی *جولیان هاکسلی*[۴]، اصطلاح شاخه را وضع کرد، آن را صریح و بی‌ابهام، به صورت شاخه‌های تکامل و اجداد تکاملی تعریف کرد. شاخه مجموعه‌ای از موجودات زنده است که از یک جد مشترک به وجود آمده باشند. با توجه به این‌که شاخه‌گراهای تغییر شکل یافته، پایه‌ی کارشان دور شدن از همه مفاهیم تکامل و اجداد است، منطقی نیست که خود را شاخه‌گرا بنامند. این کار آن‌ها یک دلیل تاریخی دارد: آن‌ها ابتدا واقعاً شاخه‌گرا بودند و از بعضی روش‌های شاخه‌گرایان پیروی می‌کردند ولی فلسفه و اصول بنیادی آن‌ها را کنار گذاشته بودند. به نظر من

---

۱ Numerical taxonomist

۲ Average-distance measurers

۳ Transformed cladists

۴ Julian Huxley

هم چاره‌ای نیست جز این‌که آن‌ها را شاخه‌گرای تغییر شکل یافته بنامم گرچه این کار را با بی‌میلی انجام می‌دهم.

میانگین‌سنج‌ها نه‌تنها استفاده از تکامل را در طبقه‌بندی‌شان قبول ندارند (با وجودی که تکامل را قبول دارند (بلکه اصرار دارند بر این‌که لزومی ندارد الگوی شباهت فقط یک سلسله‌مراتب انشعابی باشد. آن‌ها سعی دارند روشی را به کار ببرند که اگر سلسله‌مراتبی دقیقاً وجود دارد آن را نشان دهد و اگر وجود ندارد آن را مشخص کند. آن‌ها می‌خواهند از طبیعت بپرسند که آیا واقعاً به صورت سلسله‌مراتبی تنظیم شده است. این کار ساده‌ای نیست و شاید بهتر باشد بگوییم برای رسیدن به این هدف عملاً راهکاری وجود ندارد. با وجود این از نظر من این هدف جزئی از آرمانی قابل تحسین برای پرهیز از پیش‌داوری است. روش‌های آن‌ها اغلب تا اندازه‌ای پیچیده و عددی است و همان‌قدر به درد طبقه‌بندی چیزهای غیرزنده مثل سنگ و آثار باستانی می‌خورد که برای طبقه‌بندی موجودات زنده مناسب است.

آن‌ها در شروع کار هر چه را که بتوانند در مورد جانوران اندازه می‌گیرند. آدم باید کمی باهوش باشد تا از این اندازه‌گیری‌ها چیزی دستگیرش شود، البته من زیاد وارد این مقوله نمی‌شوم. نتیجه نهایی این است که از ترکیب اندازه‌های به دست آمده شاخصی برای شباهت (یا برعکس شاخص تفاوت‌ها) بین هر جاندار با جاندار دیگر پیدا می‌کنند. اگر بخواهید، می‌شود جانداران را به صورت توده‌ای از نقطه در فضا مجسم کرد. موش صحرایی، موش، همستر و مانند این‌ها در یک بخش از آن فضا قرار دارند. در بخش دیگری از آن فضا توده‌ی کوچک دیگری شامل شیر، ببر، پلنگ، یوزپلنگ و غیره است. در این فضا، فاصله موجود بین هر دو نقطه معیاری است برای این‌که آن دو حیوان چه اندازه به هم شبیه‌اند و این فاصله از ترکیب تعداد زیادی از مشخصه‌های آن‌ها به دست آمده است. فاصله بین شیر و ببر کم است، فاصله‌ی بین موش و موش صحرایی هم همین‌طور. اما فاصله بین موش صحرایی و

ببر یا موش و شیر زیاد است. ترکیب ویژگی‌ها و یافتن برآیند آن‌ها با استفاده از کامپیوتر انجام می‌شود. فضایی که این حیوانات در آن‌جا گرفته‌اند ظاهراً کمی شبیه سرزمین بیومورف است، اما «فاصله‌ها» بیش‌تر شباهت بدنی را نشان می‌دهند نه شباهت ژنی را.

بعد از این‌که شاخصی از میانگین شباهت (یا فاصله) بین هر جاندار با جاندار دیگر به دست آمد، کامپیوتر را طوری تنظیم می‌کنند که مجموعه فاصله‌ها یا شباهت‌ها را به دقت بررسی کرده و آن‌ها را به صورت یک طرح سلسله‌مراتبی خوشه‌ای تنظیم کند. متأسفانه در مورد این‌که واقعاً برای یافتن خوشه‌ها از کدام روش محاسبه باید استفاده کرد اتفاق نظر وجود ندارد. این‌طور نیست که یک روشِ کاملاً درست مشخص شده باشد و نتیجه‌ی روش‌های مختلف یکسان نیست. از آن بدتر این‌که بعضی از این روش‌های کامپیوتری بیش از اندازه «تمایل» دارند سلسله‌مراتب‌ها را خوشه در خوشه «ببینند»، چه بسا درواقع چنین چیزی وجود نداشته باشد. مکتب فاصله‌سنج‌ها یا متخصصان رده‌بندی عددی این اواخر کمی از دُور افتاده است. از نظر من، از دور افتادن آن‌ها مثل از دور افتادن مدهای لباس یک دوره‌ی موقتی است. و این رده‌بندی عددی چیزی نیست که کاملاً کنار برود. به نظرم دوباره برمی‌گردد.

در آن مکتبِ دیگر که فقط از روی طرح می‌سنجند، کسانی‌اند که خود را شاخه‌گرای تغییر شکل یافته می‌نامند و دلیل تاریخی انتخاب این نام را دیدیم. بیش‌تر از میان این گروه است که «نزاع‌ها» شروع می‌شود. برخلاف معمول، من برای یافتن ریشه‌ی تاریخی آن‌ها در میان شاخه‌گراهای واقعی می‌گردم. در فلسفه‌ی بنیادی این به قول معروف شاخه‌گراهای تغییر شکل یافته وجه اشتراک بیش‌تری با آن مکتب فکری که فقط از روی طرح می‌سنجد دیده می‌شود تا با آن‌هایی که pheneticist یا متخصص رده‌بندی عددی نام دارند که من زیر عنوان میانگین‌سنج‌ها درباره‌شان بحث کردم. آن‌چه در این‌ها مشترک است، احتراز از

نزدیک کردن تکامل به رده‌بندی علمی است، گرچه این کار را نباید حتماً نشانه‌ی ضدیت با مفهوم تکامل محسوب کرد.

شاخه‌گراهای تغییر شکل یافته و شاخه‌گراهای واقعی در بسیاری از روش‌های کاربردی مانند هم هستند. هر دو از ابتدا در چارچوب تقسیم دو شاخه‌ای درخت کار می‌کنند و هر دو بعضی ویژگی‌های خاص را برای طبقه‌بندی مهم می‌دانند و برمی‌گزینند و بعضی ویژگی‌ها را از این نظر بی‌اهمیت می‌شمارند. تفاوت آن‌ها از نظر روشی است که برای تمایز ویژگی‌های مهم و غیرمهم دارند. شاخه‌گرایان تغییر شکل یافته، مانند میانگین‌سنج‌ها نیامنده‌اند که درخت ارتباط خانوادگی را کشف کنند. آن‌ها در جستجوی درختِ شباهت‌های محض هستند. از این نظر با میانگین‌سنج‌ها هم رأی‌اند که به این سؤال که آیا الگوهای تشابه انعکاسی از تاریخ تکامل است پاسخ قطعی نمی‌دهند. ولی برخلاف فاصله‌سنج‌ها، که حداقل در اصولِ نظری، می‌خواهند به طبیعت واگذارند تا خودش به آن‌ها بگوید واقعاً نظام سلسله‌مراتبی دارد یا خیر، شاخه‌گراهای تغییر شکل یافته فرض را بر این می‌گذارند که نظام سلسله‌مراتبی وجود دارد. این اصلِ بدیهی و فرض اولیه آن‌هاست که هر چیزی باید به صورت سلسله‌مراتبی (یا معادل آن، به صورت لانه‌درلانه) طبقه‌بندی شود. چون درخت شاخه‌شاخه شده ربطی به تکامل ندارد، لزومی ندارد در مورد موجودات زنده از آن استفاده کنیم. بر اساس نظر طرفداران مکتب شاخه‌گرایی تغییر شکل یافته از روش‌های آن‌ها نه فقط برای طبقه‌بندی جانوران و گیاهان بلکه برای طبقه‌بندی سنگ‌ها، سیاره‌ها، کتاب‌های کتابخانه و ظروف سفالیِ عصر برنز نیز می‌توان استفاده کرد. به عبارت دیگر آن‌ها با چیزی که من در قیاس رده‌بندی موجودات زنده با کتاب‌های کتابخانه گفتم موافق نیستند. من گفتم تکامل تنها موردی است که برای طبقه‌بندی سلسله‌مراتبیِ آن، تنها یک صورت صحیح منحصر به فرد وجود دارد.

همان‌طور که دیدیم، میانگین‌سنج‌ها، فاصله هر جاندار از جاندار دیگر را اندازه

می‌گیرند، در آن‌جا «دور» یعنی «عدم شباهت» و «نزدیک» به معنی «وجود» شباهت است. آن‌گاه، بعد از محاسبه‌ی صورتی از جمع این شاخص‌های میانگین، شروع به تفسیر نتایج می‌کنند و این کار را بر حسب دو شاخه شدن، خوشه در خوشه‌گی سلسله‌مراتبی یا نمودار «درختی» انجام می‌دهند. اما شاخه‌گراهای تغییر شکل یافته مانند شاخه‌گراهای واقعی، که خود روزگاری بودند، از همان اول تفکر خوشه‌ای شاخه‌ای را مطرح می‌کنند. حداقل در اصول نظری مانند شاخه‌گراهای واقعی، کار را با همه‌ی درخت‌های دو شاخه‌شونده‌ی ممکن شروع می‌کنند و بعد بهترین را انتخاب می‌کنند.

اما وقتی از درخت‌های ممکن و بهترین درخت صحبت می‌کنند واقعاً منظورشان چیست؟ هر درخت به کدام وضعیت فرضی در جهان مربوط می‌شود؟ از نظر یک شاخه‌گرای واقعی، یک پیرو *دبلیو*. هنیگز، پاسخ این سؤال کاملاً روشن است. هر یک از آن پانزده درختی که ارتباط ۴ جاندار را به هم نشان می‌دهد، نمایشگر یکی از درخت‌های ممکن ارتباط است. از تمام این پانزده درخت ارتباط خویشاوندی قابل تصور، که این چهار جاندار را به یکدیگر مربوط می‌کند، یکی و فقط یکی می‌تواند صحیح باشد. داستان زندگی اجداد جانداران یک داستان واقعی است و روی زمین اتفاق استفاده است. ۱۵ ماجرای احتمالی وجود دارد، اگر فرض ما بر این باشد که همه‌ی انشعاب‌ها به صورت دو شاخه‌ای باشند. از این ماجراها ۱۴ تا باید نادرست باشد. فقط یکی می‌تواند صحیح باشد و داستان واقعی را نشان دهد. از تمام ۱۳۵,۱۳۵ درخت ممکن خویشاوندی که ربط هشت جاندار را به یکدیگر نشان می‌دهد، ۱۳۵,۱۳۴ تا نادرست است. فقط یکی نشان دهنده‌ی تاریخچه‌ی واقعی است. شاید اطمینان یافتن از این‌که آن درختِ صحیح کدام است آسان نباشد، ولی یک شاخه‌گرای واقعی لااقل این یقین را دارد که بیش از یک درختِ درست، وجود ندارد.

اما آن ۱۵ (یا ۱۳۵,۱۳۵ یا هر چه که هست) درختِ ممکن و آن یک درختِ

صحیح چه ارتباطی با دنیای غیرتکاملی شاخه‌گراهای تغییر شکل یافته دارد؟ همان‌طور که همکار و دانشجوی سابق من *مارک ریدلی*[۱] در کتاب *تکامل و رده‌بندی*[۲] می‌گوید جواب آن چیز مهمی نیست. شاخه‌گرای تغییر شکل یافته نمی‌خواهد موضوع اجداد را در طبقه‌بندی در نظر بگیرد. برای او «جد» کلمه‌ی «کثیفی» است. اما، از آن طرف اصرار دارد که طبقه‌بندی‌اش باید سلسله‌مراتبی باشد. پس، اگر این ۱۵ (یا ۱۳۵,۱۳۵) درخت سلسله‌مراتبیِ ممکن، درخت‌های تاریخ اجداد نیستند، چه هستند؟ چاره‌ای نیست جز این‌که به تصورات آرمان‌گرایانه و مبهم فلسفه باستانی پناه ببریم که جهان سلسله‌مراتبی تنظیم شده، هر چیز در جهان ضدی دارد، یا هر چیز یا این است و یا آن. از این خشک‌تر نمی‌شود شد. بی‌شک در دنیای غیرتکاملی شاخه‌گراهای تغییر شکل یافته بیان عبارت‌های قاطع و شفافی نظیر «فقط یکی از ۹۴۵ درختی که رابطه ۶ جاندار را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد، می‌تواند صحیح باشد و بقیه همه نادرستند» ممکن نیست.

چرا برای شاخه‌گراهای تغییر شکل یافته «اجداد» واژه‌ی کثیفی است؟ امیدوارم این‌طور نباشد که فکر کنند اصلاً جَدی وجود نداشته است. بیش‌تر منظورشان این است که جد در رده‌بندی جایگاهی ندارد. تا آن‌جا که به کار روزانه‌ی رده‌بندی مربوط می‌شود، این موضوع قابل دفاع است. هیچ شاخه‌گرایی عملاً روی درخت خویشاوندی اجداد بنی‌بشر[۳] را رسم نمی‌کند، گرچه گاهی از متخصصان رده‌بندی سنتی بعید نیست. شاخه‌گراها، از هر رده‌ای که باشند، همه ارتباط بین حیوانات واقعی و مشاهده شده را خویشاوندی از نظر شکل محسوب می‌کنند. این کار کاملاً معنی‌دار است. ولی بی‌معنی این است که از این قضیه استفاده کرده موضوع اجداد را ممنوع بدانیم به جای این‌که با استفاده از واژه‌ی «جَد» آن را برای توجیه درختِ

---

۱ Mark Ridley

۲ Evolution and classification

۳ Flesh and blood ancestors

سلسله‌مراتبی به عنوان بنیانِ کارِ رده‌بندی‌مان به کار ببریم.

من غیرعادی‌ترین جنبه‌ی مکتب رده‌بندی شاخه‌گرایی تغییر شکل یافته را تا این‌جا نگفته‌ام. بعضی از این شاخه‌گرایانِ تغییر شکل یافته در حالی‌که دلخورند از این‌که باید در مورد کنار گذاشتن فرض تکامل و اجداد در کار رده‌بندی، اعتقادی که در آن با phenetecistها یا «فاصله‌سنج‌ها» سهیم‌اند، توضیحی بدهند، دستِ بالا را گرفته و ادعا کرده‌اند که اصلاً خود مسئله تکامل خالی از اشکال نیست! این موضوع غریب‌تر از آن است که بشود پذیرفت. ولی بعضی از شاخه‌گراهای پیشرو با خودِ مفهوم تکامل، به ویژه نظریه تکامل داروینی، اظهار مخالفت می‌کنند. دو تن از آنان، *جی. نلسون* و *ان. پلاتنیک* از موزه‌ی آمریکایی تاریخ طبیعی در نیویورک آن‌قدر پیش رفته که گفته‌اند: «داروینیسم... در مجموع فرضیه‌ای است که آزمایش شده و نادرست از آب در آمده است.» من دوست دارم بدانم که آن آزمایش چه بوده و *نسلون* و *پلاتنیک* آن پدیده‌ای را که توسط داروینیسم توضیح داده می‌شود، مخصوصاً پیچیدگی سازشی را، چگونه با نظریه‌ی دیگری توضیح می‌دهند.

این‌طور نیست که شاخه‌گرایان تغییر شکل یافته آفرینش‌باروهای بنیادگرا باشند. تصور من این است که آن‌ها از بزرگ کردن موضوع رده‌بندی در زیست‌شناسی خوششان می‌آید. شاید به حق، به این‌جا رسیده‌اند که اگر تکامل را کنار بگذارند کار رده‌بندی را بهتر انجام می‌دهند و مخصوصاً اگر در مورد طبقه‌بندی هر گز موضوع اجداد را به میان نیاورند. ممکن است به همین ترتیب کسی که مثلاً سلول عصبی را مطالعه می‌کند به این نتیجه برسد که در نظر گرفتن تکامل کمکی به او نمی‌کند. یک متخصص عصب قبول دارد که سلول‌های عصبی حاصل تکامل‌اند ولی نیازی نمی‌بیند از این واقعیت در تحقیقش استفاده کند. او لزوم دانستن چیزهای زیادی از شیمی و فیزیک را حس می‌کند ولی فکر نمی‌کند داروینیسم به کار روزانه‌ی او روی ضربان عصب ربطی داشته باشد. موضع این شخص قابل دفاع است. اما منطقی نیست که آدم بگوید، چون به فلان نظریه در کار روزمره در رشته علمی‌اش احتیاجی

ندارد، پس آن نظریه صحیح نیست. فقط در صورتی می‌تواند چنین چیزی را عنوان کند که برآورد بسیار اغراق‌آمیزی از اهمیت رشته علمی خودش داشته باشد.

حتی در آن صورت هم منطقی نیست. یک فیزیکدان یقیناً داروینیسم را برای انجام کارش در فیزیک لازم ندارد. شاید از نظر او زیست‌شناسی در مقایسه با فیزیک موضوع کم‌اهمیتی باشد، ولی منطقی نیست که از این‌جا نتیجه بگیرد که داروینیسم صحت ندارد و آن را «باطل» اعلام کند. اما این همان کاری است که ظاهراً بعضی از پیشروان مکتب شاخه‌گرایی تغییر شکل یافته انجام داده‌اند. خوب دقت کنید، «نادرست» دقیقاً واژه‌ای است که *نلسون* و *پلاتنیک* به کار برده‌اند. لازم به گفتن نیست که بلندگوهای گوش به زنگی که در فصل قبل صحبت‌شان را کردم، حرف‌های آن‌ها را گرفته و کلی محبوبیت کسب کرده‌اند. و برای خود در میان آثار آفرینش‌باورانِ بنیادگرا جایگاهی افتخاری پیدا کرده‌اند. اخیراً وقتی یک شاخه‌گرای تغییر شکل یافته به عنوان سخنرانِ مهمان در دانشگاه ما صحبت کرد، جمعیت بیش‌تری از سخنرانانِ دیگرِ آن سال جلب کرد. علتش معلوم است.

بی‌تردید وقتی عباراتی مانند «داروینیسم... نظریه‌ای است که آزمایش شده و نادرست از آب در آمده» از زبان زیست‌شناس مطرحی که عضو یک موزه‌ی ملی معتبر است گفته شود، نان و آب مناسبی می‌شود برای آفرینش‌باوران و دیگر کسانی که عملاً از دروغ‌گویی بدشان نمی‌آید. تنها به این دلیل بود که من وقت خوانندگان را در مورد شاخه‌گراهای تغییر شکل یافته گرفتم. همان‌طور که *مارک ریدلی*، در نقدی بر کتابی که در آن *نلسون* و *پلاتنیک* داروینیسم را باطل دانسته‌اند، کمی ملایم‌تر گفته است چه کسی می‌توانست حدس بزند که تمام منظور آن‌ها این بود که آوردن گونه‌های اجدادی، در طبقه‌بندی شاخه‌گرا کار را بغرنج می‌کند. البته شناسایی هویت اجداد به صورت دقیق کار آسانی نیست و دلیل خوبی است برای این‌که اصلاً وارد این قضیه نشویم. اما گفتن چیزهایی که با آن دیگران را تشویق کنیم که نتیجه بگیرند اصلاً هیچ‌وقت جَدی در کنار نبود است، سوءاستفاده از زبان و خیانت به حقیقت

است.

حالا بهتر است بروم بیرون توی باغچه مشغول شوم، یا کار دیگری انجام دهم.

فصل ۱۱

رقیبان محکوم

هیچ زیست‌شناس صادقی در واقعیت تکامل و این‌که همه موجوداتِ زنده خویشاوند یکدیگرند تردید ندارد. با این حال هستند زیست‌شناسانی که در مورد این نظریه، به‌خصوص نظریه‌ی داروین که درباره‌ی چگونگی رخ دادن تکامل است، شبهه دارند. گاهی این مسئله فقط به صورت بحث بر سر واژه‌ها و اختلاف نظرهای سطحی است. [برای نمونه] نظریه‌ی تکامل نقطه‌ای، به صورت نظریه‌ای مخالف با داروینیسم ارائه شده است. در حالی‌که همان‌طور که در فصل ۹ مطرح شد نظریه تکامل نقطه‌ای یک صورت حاشیه‌ای از داروینیسم است که تفاوت مختصری با آن دارد و در میان نظریه‌هایی که رقیب داروینیسم محسوب می‌شوند جایی ندارد. اما نظریه‌های دیگری وجود دارند که دقیقاً مخالف روح تفکر داروینی‌اند و به هیچ عنوان نمی‌شود آن‌ها را صورت دیگری از داروینیسم به شمار آورد. این نظریه‌های رقیب موضوع این فصل را تشکیل می‌دهند. این نظریه‌ها شامل روایت‌های مختلف از چیزی‌اند که لامارکیسم نامیده می‌شود، به اضافه‌ی دیدگاه‌های دیگری مانند «بی‌طرف‌گرایی»، «جهش‌گرایی» و آفرینش‌باوری که هر کدام هر از گاهی به عنوان جایگزینی برای انتخاب داروینی مطرح شده‌اند.

بدیهی است برای تصمیم‌گیری بین نظریه‌های رقیب باید دلایل آن‌ها را بررسی

کنیم. برای مثال، نظریه‌های از نوع لامارکی به‌طور سنتی – و به حق – مردودند زیرا هرگز شواهد خوبی برای آن‌ها یافت نشده است (نه به این دلیل که انجام این کار تلاش زیادی لازم دارد، در بعضی موارد افراطی‌ها حاضرند شواهد ساختگی جعل کنند). در این فصل من روش دیگری را پیش می‌گیرم زیرا در کتاب‌های زیاد دیگری آن شواهد بررسی شده و نتیجه به نفع داروینیسم بوده است. در این‌جا به جای این‌که آن شواهد را بررسی کرده و ببینیم در جهت موافق یا مخالف نظریه‌های رقیب‌اند، من از یک رویکرد کلامی‌تر استفاده می‌کنم. بحث من این است که داروینیسم تنها نظریه شناخته شده‌ای است که می‌تواند جنبه‌های خاصی از حیات را توضیح دهد. اگر اشتباه نکنم یعنی حتی اگر عملاً مدرکی به نفع داروینیسم وجود نمی‌داشت (که البته وجود دارد)، باز ما می‌پذیرفتیم که آن را به همه‌ی نظریه‌های رقیب ترجیح دهیم.

برای مجسم کردن این موضوع تنها راه این است که پیش‌بینی کنیم. من پیش‌بینی می‌کنم که اگر هر زمان صورتی از حیات در هر جای دیگر جهان پیدا شود، هر قدر جزئیات آن شکل از حیات عجیب و غریب باشد، معلوم خواهد شد که از یک جنبه‌ی بسیار کلیدی به حیاتی که در روی زمین است شباهت دارد. از طریق نوعی انتخاب طبیعی داروینی تکامل یافته است. متأسفانه ما در طول زندگی‌مان نخواهیم توانست این پیش‌بینی را، با همه‌ی احتمالاتش، به بوته‌ی آزمایش بگذاریم، اما در هر صورت راهی است برای به تجسم درآوردن یک حقیقت بزرگ درباره‌ی حیات روی کُره‌ی ماه. نظریه داروین اصولاً می‌تواند حیات را توضیح دهد. تاکنون هیچ یک از نظریه‌های دیگری که مطرح شده‌اند توان توضیح حیات را نداشته‌اند. من با بحث درباره‌ی همه‌ی نظریه‌های شناخته شده‌ی رقیب این را ثابت خواهم کرد، البته نه با استفاده از شواهدی در جهت موافق یا مخالف آن‌ها بلکه با بیان میزان کفایت آن‌ها برای توضیح حیات.

ابتدا باید مشخص کنیم منظور از «توضیح» حیات چیست. بی‌شک موجودات زنده ویژگی‌هایی دارند که می‌توانیم آن‌ها را نام ببریم و ممکن است نظریه‌های دیگر

بتوانند توجیه قابل قبولی از بعضی از آن‌ها داشته باشند. همان‌طور که دیدیم، واقعیت‌های بسیاری در مورد توزیع مولکول‌های پروتئین [وجود دارد که نشان می‌دهد] احتمالاً بیش‌تر به جهش‌های ژنتیکیِ خنثی مربوط می‌شوند تا به انتخاب داروینی. ولی من می‌خواهم روی یک ویژگی خاص موجود زنده به عنوان چیزی که فقط با نظریه انتخاب داروینی قابل توجیه است انگشت بگذارم. آن ویژگی موضوعی است که در این کتاب به کرات تکرار شده است: پیچیدگیِ سازشی (adaptive complexity). موجودات زنده برای بقا و تکثیر خود در محیطی که هستند، با روش‌های بسیار گوناگونی، خود را با محیط تطبیق داده‌اند. این روش‌ها فوق‌العاده زیادند، و از نظر آماری غیرمحتمل است که بر اثر تصادف اتفاق افتاده باشند. من به پیروی از *پالی* چشم را به عنوان نمونه انتخاب می‌کنم. دو یا سه مشخصه‌ی طرح خوب چشم را می‌توان حاصل تصادف شانس خوب دانست، ولی آن تعداد زیاد اجزاء به هم وابسته و هماهنگ که باعث بهتر دیدن می‌شوند به توضیح خاصی نیاز دارند و فراتر از آن هستند که حاصل شانس محض باشند. البته توضیح داروینیِ آن شانس هم به صورت جهش، وجود دارد اما، انتخاب آن شانس را، مرحله به مرحله، در طول نسل‌های متوالی، به تدریج پالایش می‌کند. فصل‌های دیگر نشان داده‌اند که این نظریه می‌تواند توضیح قانع‌کننده‌ای برای پیچیدگی سازشی ارائه کند. در این فصل همه‌ی نظریه‌های شناخته شده‌ی دیگر که توان این کار را ندارند مورد بحث قرار می‌دهیم.

اول برویم سراغ مهم‌ترین رقیب تاریخی داروینیسم، یعنی لامارکیسم. لامارکیسم وقتی در اوایل قرن نوزدهم برای نخستین بار مطرح شد، رقیبی برای داروینیسم نبود زیرا هنوز داروینیسم به میدان نیامده بود. *شوالیه دولامارک* جلوتر از زمان خود بود. او یکی از آن روشنفکران قرن هیجدم بود که به نفع تکامل بحث می‌کرد. تا این‌جا فکرش درست بود و تنها از این نظر، در کنار *اراسموس*، پدربزرگ *چالز داروین* و عده‌ای دیگر شایسته احترام است. *لامارک* همچنین بهترین نظریه‌ای را که در آن

زمان می‌توانست برای ساز و کار تکامل ارائه شود بیان نمود، اما دلیلی ندارد که تصور کنیم اگر در آن زمان ساز و کار داروینی مطرح شده بود، او آن را نمی‌پذیرفت. این نظریه هنوز ارائه نشده بود و این از بداقبالی *لامارک*، لااقل در دنیای انگلیسی زبان، بود که نام او با یک اشتباه – نظریه‌اش درباره ساز و کار تکامل – گره خورده است به جای این‌که یادآور باور واقعی او به واقعیت تکامل باشد. این کتاب تاریخچه نیست و من نمی‌خواهم به تشریح عالمانه گفته‌های *لامارک* بپردازم. گفته‌های خود *لامارک* تا حدی با نظر عوام آمیخته است. مثلاً او به پیشرفت در تکامل اعتقاد زیادی داشت، همان چیزی که حتی بسیاری از مردم امروز آن را پلکان حیات می‌دانند؛ و از تلاش جانداران طوری صحبت می‌کرد که انگار نوعی آگاهانه می‌خواستند تکامل پیدا کنند. من از لامارکیسم آن عناصر غیرعامیانه را، که دست‌کم در نگاه اول، ظاهراً این بحث مساعد را داشته‌اند که به عنوان روایتی دیگر از داروینیسم مطرح باشند، جدا می‌کنم. این عناصر، که لامارکی‌های امروز فقط آن‌ها را برگزیده‌اند، در اصل دو تا هستند: به ارث رسیدن صفات اکتسابی و اصل استفاده و عدم استفاده[۱].

اصل استفاده و عدم استفاده می‌گوید آن قسمت‌هایی از بدن موجود زنده که مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیش‌تر رشد می‌کند. آن قسمت‌ها که به کار نمی‌رود، رو به تحلیل می‌گذارد. این امر قابل مشاهده است، وقتی عضله‌ای ورزش داده شود، بزرگ‌تر می‌شود، ماهیچه‌هایی که به کار نمی‌افتند کوچک می‌شوند. با دقت در بدن کسی، می‌توانیم بگوییم از کدام ماهیچه استفاده می‌کند و از کدام استفاده نمی‌کند. حتی شاید بتوانیم حدس بزنیم حرفه یا سرگرمی او چیست. دوستداران بدن‌سازی، از اصل استفاده و عدم استفاده برای ساختن بدن‌شان بهره می‌گیرند و تقریباً مثل یک مجسمه آن را به هر شکلِ غیرطبیعی که در فرهنگ‌شان مورد توجه باشد درمی‌آورند. ماهیچه تنها بخشی از بدن نیست که به این ترتیب به اصل استفاده پاسخ می‌دهد. با

---

۱ Principle of use and disuse

پای برهنه راه بروید، پوست پاشنه‌ی پا کلفت‌تر می‌شود. به راحتی می‌توان دست یک کشاورز را از دست یک کارمند بانک تشخیص داد. دست کشاورز به خاطر این‌که زمان زیادی کار سخت انجام داده زبر است. اگر دست کارمندی کمی زبر باشد، فقط در حد همان پینه‌ای است که مربوط به انگشتی می‌شود که فشار نوشتن روی آن است.

اصل استفاده و عدم استفاده حیوانات را قادر می‌کند که در طول عمر خود، به تدریج در نتیجه زندگی در دنیای خود، در کار بقا در جهان بهتر شوند. انسان‌ها، با قرار گرفتن در معرض تابش خورشید، یا کمبود آن، رنگ پوست‌شان طوری می‌شود که برای بقا در شرایط محیطِ زندگیِ خود بهتر مجهز باشند. آفتابِ زیاد خطرناک است. دوستداران حمام آفتاب که پوست روشنی دارند، در معرض خطر سرطان پوست هستند. از طرفی، آفتابِ خیلی کم، باعث کمبود ویتامین D و نرمی استخوان می‌شود که گاهی در بچه‌های از نژاد سیاه که در اسکاندیناوی زندگی می‌کنند مشاهده می‌شود. رندگانه‌های قهوه‌ای ملانین که بر اثر آفتاب پیدا می‌شود، مانند صفحه‌ای، از بافت‌های زیرین در مقابل اثرات زیان‌آور نورِ زیاد محافظت می‌کند. اگر آدم برنزه‌ای به محل کم‌آفتاب‌تری برود، آن رنگدانه‌ها از بین می‌روند و بدن می‌تواند از آن مقدارِ کمِ نور خورشیدی که موجود است استفاده کند. این را می‌توان موردی از اصل استفاده و عدم استفاده دانست: وقتی از پوست (در زیر نور آفتاب) «استفاده» شود قهوه‌ای می‌شود و وقتی مورد «استفاده» نباشد، روشن می‌شود. البته بعضی از نژادهای گرمسیری لایه‌ی ضخیمی از ملانین را به‌طور ارثی دارند، چه شخصاً در معرض آفتاب باشند چه نباشند.

حالا برمی‌گردیم به دیگر اصل مهم لامارکیسم، این تصور که صفات اکتسابی از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند، همه‌ی شواهد حاکی از آن است که چنین نظری کاملاً غلط است، اما در بیش‌ترِ طول تاریخ مردم بر این باور بوده‌اند که صحیح است. *لامارک* این نظر را از خود در نیاورد. او فقط آن‌چه را که در اذهان مردم

زمانش بود ثبت کرد. این نظر در باور بعضی گروه‌ها هنوز پابرجاست. مادرم سگی داشت که گاهی عمداً خودش را به شَلی می‌زد؛ یکی از پاهای عقبش را بالا می‌گرفت و روی سه پای دیگر می‌شَلید. یکی از همسایه‌ها سگ پیرتری داشت که متأسفانه در تصادف با ماشین یک پایش را از دست داده بود. آن همسایه فکر می‌کرد که سگش باید پدرِ سگ مادرم باشد، به این دلیل روشن که سگ ما شَلی را از سگ او به ارث برده است. عقل جمعی و قصه‌های مردم پر از این داستان‌ها هستند. بسیاری از مردم یا باور دارند یا دوست دارند باور داشته باشند که صفات اکتسابی به ارث می‌رسند. پیش از این قرن (قرن بیستم)، نظریه غالب در مورد توارث بین زیست‌شناسانِ درست و حسابی همین بود. گرچه خود *داروین* هم آن را قبول داشت ولی این موضوع در نظریه‌ی تکامل او نیست، بنابراین این موضوع نام او را در ذهن ما زنده نمی‌کند.

اگر به ارث رسیدن صفات اکتسابی را کنار اصل استفاده و عدم استفاده بگذارید، به چیزی خواهید رسید که به دستورالعمل مناسبی برای پیشرفت‌های تکاملی شباهت دارد. همین دستورالعمل است که به عنوان نظریه‌ی لامارکی مطرح می‌شود. اگر نسل‌های متوالی، با پای برهنه راه رفتن روی زمین سخت، کف پای‌شان را کلفت‌تر از نسل قبل کنند، طبق این نظریه، هر نسل پوست پایش کمی زُخمت‌تر از نسل قبل خواهد بود. هر نسل نسبت به نسل قبل برتری خواهد داشت، در نهایت بچه‌ها با پاهایی که از قبل کلفت شده به دنیا می‌آیند (درواقع گرچه پای‌شان زمخت‌تر است ولی علت آن چیز دیگری است که خواهیم دید). اگر نسل‌هایی پشت سر هم از آفتاب گرمسیر برخوردار شوند، قهوه‌ای و قهوه‌ای‌تر می‌شوند، چون بر اساس نظریه‌ی لامارکی هر نسل مقداری از برنزگی را از نسل قبل به ارث می‌برد، و سرانجام سیاه زاده می‌شوند (باز واقعاً سیاه می‌شوند ولی نه به دلیل لامارکی).

مثال‌های معروف، دست آهنگران و گردن زرافه است. در روستاها که آهنگر این

حرفه را از پدر و پدربزرگش به ارث می‌برد، این تصور وجود داشت که او عضلات ورزیده را هم از آن‌ها به ارث می‌برد. او نه‌تنها عضله را به ارث می‌برد بلکه با کار خود چیزی هم به آن می‌افزاید و آن را به نسل بعد منتقل می‌کند. زرافه‌های اجدادی که گردن‌های‌شان بلند نبود، نااُمیدانه نیاز به دستیابی به سرشاخه‌های بلند درختان را حس می‌کردند. آن‌ها با تمام توان تلاش می‌کردند خود را بالا بکشند. به این ترتیب ماهیچه و استخوان گردن‌شان کشیده می‌شد. هر نسل گردنش کمی از نسل قبل درازتر می‌شد و این امتیاز را به نسل بعد منتقل می‌کرد. بر اساس نظریه‌ی لامارکیِ محض، هر پیشرفت تکاملی از این الگو پیروی می‌کند. جاندار برای رسیدن به چیزی که نیاز دارد تلاش می‌کند. در نتیجه بخشی از بدنش که در این تلاش به کار افتاده، بزرگ‌تر می‌شود یا در غیر این صورت در جهت مناسب دیگری دچار تحول می‌شود. این تغییر به نسل دیگر به ارث می‌رسد و این روند ادامه می‌یابد. امتیاز این نظریه این است که انباشتی است. یعنی همان‌طور که دیدیم عنصری را دارد که برای هر نظریه‌ای که در مورد تکامل بوده و قرار باشد از نگاه ما نقش‌اش را اجرا کند، ضروری است.

به نظر می‌رسد نظریه لامارکی از نظر احساسی برای قشرهای خاصی از روشنفکران و همین‌طور برای عوام جاذبه‌ی زیادی داشته باشد. یک بار من به همکاری برخوردم که تاریخ‌نگار مارکسیست شناخته شده و شخص فرهیخته و بادانشی است، می‌گفت فهمیده است که همه واقعیت‌ها مخالف لامارکسیم است، اما آیا واقعاً هیچ امیدی نیست که امکان درستیِ این نظریه وجود داشته باشد. به او گفتم از نظر من امیدی نیست. او با ابراز تأسف صمیمانه‌ای آن را پذیرفت ولی گفت به دلایل عقیدتی ترجیح می‌داد که لامارکیسم صحت داشته باشد. به نظر می‌رسد چنین آرزوهای مثبتی برای تعالی انسانیت مطرح می‌شده است. *جورج برنارد شاو* پیشگفتار مفصل یکی از کتاب‌هایش (*در بازگشت به متوشالح*)[1] را به جانبداری

[1] Back to Methuselah

پرحرارتی از ارثی بودن صفات اکتسابی اختصاص داده است. مبنای سخن او دانش زیست‌شناسی، که او با خوشحالی اعتراف می‌کرد از آن چیزی سر درنمی‌آورد، نبود. مبنای آن یک انزجار عاطفی از پیامد داروینیسم بود، «فصل تصادف‌ها»:

> ساده به نظر می‌رسد، زیرا اول آدم متوجه نمی‌شود قضیه چه دامنه‌ای دارد. ولی وقتی هیبت آن بر ذهنش سایه می‌افکند، قلب در درون فرو می‌ریزد. در آن، دستِ جبر تقدیر نهفته است، دستی که هولناک و شوم، زیبایی و هوش، توان و آرمان، غرور و آرزو را بی‌رنگ می‌کند.

آرتور کستلر شخصیت شناخته‌شده‌ی دیگری در دنیای قلم بود که نمی‌توانست با آن‌چه از مفهوم داروینیسم برمی‌آمد، کنار بیاید. آن‌طور که استفان گولد به طعنه ولی به حق گفته است «*کستلر* در سرتاسر شش کتاب آخرش مبارزه‌ای علیه کج‌فهمی خودش از داروینیسم را رهبری کرده است». *کستلر* به نظریه دیگری پناه برد که هرگز برای من کاملاً روشن نبود ولی شاید بشود آن را روایت گنگی از لامارکیسم به شمار آورد.

کستلر و *شاو* از کسانی بودند که فکر مستقل خود را داشتند. دیدگاه غیرمعمول آن‌ها نسبت به تکامل به نظر نمی‌رسد تأثیر چندانی گذاشته باشد، گرچه من با تأسف به یاد می‌آورم که وقتی تازه جوان بودم، تحت تأثیر بیان جادویی *شاو* در کتاب *بازگشت به متوشالح*، حداقل یک سال دیرتر به درک و شناخت داروینیسم رسیدم. هرگاه جاذبه احساسی لامارکیسم با تنفر احساسی از داروینیسم همراه شده، به صورت عقایدی پُرنفوذ جایگزین تفکر گردیده و اثر نامبارک‌تری داشته است. ت. د. *لیسنکو*[1] گیاه‌شناس درجه‌ی دومی بود که هیچ برجستگی خاصی نداشت جز در سیاست. بیش‌تر کشورهای متمدن، تعصب او را در مخالفت با طرفداران *مندل* و اعتقاد خشک و افراطی او به ارثی بودن صفات اکتسابی را ساده‌لوحانه ندیده گرفته‌اند. متاسفانه، از قضای روزگار، او در کشوری می‌زیست که در آن به عقاید

[1] T. D. Lysenko

بهای بیش‌تری داده می‌شد تا به حقایق علمی. در سال ۱۹۴۰ او را به سمت مدیر مؤسسه‌ی ژنتیک جماهیر شوروی منصوب کردند و وی نفوذ زیادی پیدا کرد. طی یک نسل، تنها چیزی که در مدرسه‌ها تدریس می‌شد دیدگاه بی‌صلاحیت او نسبت به ژنتیک بود. خسارت جبران‌ناپذیری به کشاورزی شوروی وارد آمد. بسیار از دانشمندان برجسته‌ی ژنتیک شوروی تبعید شدند، یا جلای وطن کردند یا به زندان افتادند. از جمله *ان. آی. واویلف*[1] دانشمند ژنتیک بود که شهرتی جهانی داشت. بعد از محاکمه‌ای طولانی و مسخره که در آن اتهامات بی‌اساسی مانند «جاسوسی برای بریتانیا» را به او نسبت دادند، در زندان، در سلولی بدون روزنه، از سوء تغذیه جان سپرد.

نمی‌توان ثابت کرد که صفات اکتسابی اصلاً به ارث نمی‌رسند. به همین دلیل که هرگز نمی‌توانیم عدم وجود پریان افسانه‌ها را ثابت کنیم. تنها چیزی که می‌توانیم بگوییم این است که تا به حال هیچ رؤیتی از آن پریان به اثبات نرسیده است و تصاویری که ادعا می‌شود مربوط به آن‌هاست کاملاً ساختگی است. قضیه‌ی ادعای جای پای انسان در بستر دایناسورها در تکزاس هم همین‌طور است. هر جمله‌ی قاطعی که من درباره‌ی عدم وجود پریان می‌گویم در صورتی می‌توان نفی کرد، که روزی در ته باغ من آدم بالدار عنکبوت مانندی دیده شود. جایگاه نظریه ارثی بودن صفات اکتسابی هم همین‌طور است. تقریباً همه‌ی تلاش‌ها برای به نمایش درآوردن آن بی‌نتیجه مانده است. بعضی از آن‌ها که به ظاهر موفق از آب درآمده‌اند شارلاتان‌بازی بوده‌اند؛ مثل قضیه معروف تزریق مرکب چین زیر پوست نوعی قورباغه که *آرتورکستلر* آن را در کتابی به همین نام شرح داده است. کارهای دیگرشان هم به وسیله افراد دیگر تکرارپذیر نبوده است. با وجود این، درست به همان اندازه که ممکن است یک نفر وقتی کاملاً حواسش جمع است و دوربین عکاسی هم همراهش است در ته باغی یک پری را ملاقات کند، احتمال دارد کسی

[1] N. I. Vavilov

روزی بتواند ثابت کند که صفات اکتسابی به ارث می‌رسند.

اما باز هم چیزهایی هست که باید گفته شود. چیزهایی هست که هرگز به‌طور یقین رؤیت نشده‌اند، ولی تا زمانی که اطلاعات دیگر ما را در مورد تردید قرار نمی‌دهند، قابل قبول‌اند. من برای این گفته که امروزه در دریاچه *لاخ‌نس*[1] هیولا زندگی می‌کند گواه معتبری ندیده‌ام ولی، اگر روزی یکی از آن‌ها پیدا شود، دیدگاه من نسبت به دنیا به هم نمی‌ریزد، فقط تعجب می‌کنم (و به هیجان می‌آیم) زیرا در ۶۰ میلیون سال گذشته هیچ فسیلی از آن هیولا (plesiosaurs) یافت نشده و برای این‌که از آن جمعیت بسیار قدیمی بازمانده‌ی زنده‌ای دیده شود این زمان بسیار زیاد است. اما پیدا شدن هیولا هیچ اصل علمی مهمی را به خطر نمی‌اندازد. واقعیت را باید پذیرفت. از طرفی، علم درک خوبی از چگونگی کار جهان را برای ما فراهم آورده است، شناختی که در مورد طیف وسیعی از پدیده‌ها کارآیی دارد و با بعضی از ادعاها ناسازگار است یا حداقل با این درجه از شناخت به سختی می‌توان آن‌ها را هضم کرد. به‌طور مثال، این موضوع در مورد این ادعای کذبی که بر مبنای تورات مطرح شده که جهان فقط ۶,۰۰۰ سال پیش خلق شده صادق است. چنین نظری از واقعیت به دور است. این موضوع نه فقط با زیست‌شناسی و زمین‌شناسی سنتی قابل تطبیق نیست بلکه با نظریه‌ی فیزیکی پرتونگاری و کیهان‌شناسی هم جور درنمی‌آید (اگر قبل از ۶,۰۰۰ سال پیش چیزی وجود نداشته، نباید اجرام آسمانی که بیش از ۶,۰۰۰ سال نوری از ما فاصله دارند دیده شوند؛ کهکشان راه شیری نباید قبال رؤیت باشد و همین‌طور هر کدام از آن ۱۰۰,۰۰۰ میلیون کهکشان دیگری که کیهان‌شناسی جدید وجودشان را تصدیق می‌کند).

در طول تاریخ علم، زمان‌هایی بوده است که تنها یک واقعیت غیرقابل توجیه باعث شده همه‌ی علم سنتی به حق زیر و زبر شود. خودخواهانه است اگر اصرار داشته باشیم که این دگرگونی‌ها تکرار نمی‌شوند. اما ما به‌طور طبیعی و به‌واقع باید

[1] Lochness، دریاچه‌ای در اسکاتلند.

معیار بالاتری برای تأیید و پذیرفتن واقعیتی که بنیاد یک یافته علمی و موفق را زیر و زبر می‌کند در اختیار داشته باشیم، نه این‌که هر واقعیتی، حتی اگر غیرعادی، را بپذیریم چون با علم موجود مطابقت دارد. من هیولای دریاچه لاخ‌نس را وقتی باور می‌کنم که با چشم خودم ببینم. اگر آدمی را ببینم که از زمین بلند و جدا می‌شود، قبل از این‌که کل قوانین فیزیک را رد کنم، این شک در من پیدا می‌شود که دستخوش توهم شده‌ام یا شعبده‌ای در میان است. پیوستاری وجود دارد بین نظریه‌هایی که شاید درست نباشند ولی به سادگی می‌توانستند درست باشند تا نظریه‌هایی که فقط به بهای واژگون کردن بنای عظیم علم کارآمد سنتی درست محسوب می‌شوند.

حالا جای لامارکیسم در این پیوستار کجاست؟ قاعدتاً باید در آن سرپیوستار که «درست نیست ولی می‌توانست درست باشد» قرار گیرد. من می‌خواهم ادعا کنم لامارکیسم، یا به صورت دقیق‌تر ارثی بودن صفات اکتسابی، در حالی‌که هم‌سطح بلند شدن از زمین با نیروی دعا نیست، بیش‌تر به آن انتهای پیوستار که بلند شدن از زمین است نزدیک است تا به سر دیگرش که هیولای دریاچه است. ارثی بودن صفات اکتسابی چیزی نیست که می‌توانست به سادگی صحیح باشد ولی احتمالاً نیست. منظور من این است فقط در صورتی می‌تواند صحیح باشد که یکی از پرورده‌ترین و کارآمدترین اصول جنین‌شناختی را باطل اعلام کند. بنابراین تردید در مورد لامارکیسم سطحی بالاتر از سطح معمول تردید در مورد هیولای دریاچه را می‌طلبد. خوب، آن وقت با این اصل نتیجه‌بخش و مقبول جنین‌شناسی که باید زیر و رو شود چه باید کرد؟ این موضوع کمی بیش‌تر توضیح لازم دارد. این توضیح شاید به نظر دور شدن از اصل موضوع باشد ولی ربط آن در آخر معلوم می‌شود. و یادتان باشد که همه‌ی این‌ها قبل از ورود به این بحث است که حتی اگر لامارکیسم درست بود، هنوز کفایت توضیحی در مورد پیدا شدن پیچیدگی سازشی را نداشت.

به این ترتیب موضوع سخن، جنین‌شناسی است. به‌طور سنتی شکاف عمیقی بین دو رویکرد متفاوت به چگونگی تبدیل یک سلول به یک موجود بالغ وجود دارد.

اسم رسمی این رویکردها پیش‌ریختارگرایی[۱] و پس‌زایی[۲] است، اما من صورت امروزی آن‌ها را *نظریه‌ی نقشه* و *نظریه‌ی طرز تهیه* می‌نامم. پیش‌ریختارگراهای اولیه فکر می‌کردند شکل بدن بالغ، در آن یک دانه سلولی که قرار است بدن از آن به وجود آید، از پیش وجود دارد. یکی از آن‌ها تصور می‌کرد می‌تواند با میکروسکوپ‌اش یک آدم مینیاتوری را ببیند – یک «آدمک»[۳] را – که درون یک اسپرم (نه تخمک!) جمع شده است. برای او رویش جنین معادل روند بزرگ شدن بود. همه‌ی اجزاء بدن بالغ از قبل در آن‌جا شکل خود را داشت، شاید هر آدمک مذکر اسپرم‌های مافوق ریز خود را داشت که در آن بچه‌هایش چمباته زده بودند و هر کدام از آن بچه‌ها هم نوه‌های او را در خود داشتند... کاملاً جدا از این مسئله پس‌رَوی تا بی‌نهایت... پیش‌ریختارگرایی سست بنیاد این واقعیت را، که در قرن هفده کمی مبهم‌تر از حالا بود، ندیده می‌گیرد که بچه‌ها خصوصیات‌شان را هم از پدر و هم از مادر به ارث می‌برند. برای این‌که انصاف را رعایت کرده باشیم، باید یادآور شویم پیش‌ریختارگرایان دیگری بودند به نام تخمک‌گرایان[۴] و تعداشان خیلی بیش‌تر از اسپرم‌گرایان بود. این‌ها فکر می‌کردند که ریختار موجود بالغ، از پیش نه در اسپرم بلکه در تخمک شکل گرفته است. در هر صورت تخمک‌گرایی هم با همان دو مسئله اسپرم‌گرایی دست به گریبان است.

پیش‌ریختارگرای امروزی گرچه هیچ یک از این دو مشکل را ندارد ولی باز در اشتباه است. پیش‌ریختارگرایی امروزی – نظریه نقشه – بر این بارو است که DNA موجود در یک تخمک بارور معادل نقشه یک بدن بالغ است. نقشه، مینیاتوری

---

۱ Prefermationism

۲ Epigenesis

این دو معادل از واژه‌نامه‌ی زیست‌شناسی (ابراهیم‌زاده و همکاران، ۱۳۷۱)، انتشارات علوی برگرفته شده است.

۳ Homunculus

۴ Ovist

ریزمقیاس است از چیزی واقعی. آن چیز واقعی – خانه، ماشین یا هرچه که هست – چیزی سه بُعدی است، در حالی‌که نقشه دو بُعد دارد. می‌شود یک چیز سه بُعدی، مثلاً یک ساختمان را با استفاده از یک سری صفحات دو بُعدی نشان داد: یک نقشه از کف هر طبقه، نماهای مختلف عمودی و مانند این‌ها. این تقلیل در بُعد به خاطر راحتی کار است. معمارها می‌توانند شکل کوچکی از ساختمان را به صورت سه بُعدی با چوب کبریت یا چوب بالزا[1] درست کنند و در اختیار بناها قرار دهند، اما اگر آن را به صورت چند طرح در کاغذ دو بُعدی – نقشه – درآورند، راحت‌تر در کیف حمل می‌شود، تغییر و اصلاحش ساده‌تر و انجام کار از رویش سهل‌تر است.

اگر قرار باشد نقشه در کامپیوتر به صورت رمزینه نگه داشته شود و برای مثال با خط تلفن به جای دیگری در مملکت فرستاده شود، لازم است که باز هم تقلیل یافته و یک بُعدی شود. این کار به سادگی با رمزگذاری مجدد هر یک از صفحات دو بُعدی به صورت پویش (scan) یک بُعدی انجام می‌شود. تصویرهای تلویزیونی را برای انتقال از طریق امواج هوایی به این صورت رمزگذاری می‌کنند. با این فشرده شدن به صورت یک بُعدی، از نظر رمزگذاری کار چندان مهمی نیست. مهم این است که هنوز بین ساختمان و نقشه‌ی آن رابطه‌ی یک‌به‌یکی وجود دارد. هر بخش از آن نقشه به بخش خاصی در ساختمان مربوط می‌شود. می‌شود این‌طور گفت که آن نقشه، ساختمان اجرا شده کوچکی است، البته آن صورت ریز ساختمان ممکن است در ابعاد کمتری، نسبت به ساختمان واقعی، رمزگذاری شود.

باید گفت دلیل صحبت از تقلیل نقشه به یک بُعد این است که DNA یک رمز تک بُعدی است. درست همان‌طور که بر اساس اصول نظری می‌توان نقشه‌ی کوچک‌شده‌ی یک ساختمان را از طریق خط تلفن یک بُعدی به جای دیگری فرستاد – به صورت چند نقشه که با ارقام رمزگذاری شده‌اند – باید بتوان یک بدن در مقیاس کوچک را نیز از طریق رمز دیجیتال DNA جابه‌جا کرد. چنین چیزی رخ

[1] Balsa، نوعی چوب سبک.

نمی‌دهد ولی اگر می‌شد، آن وقت بی‌مورد نبود بگوییم زیست‌شناسی مولکولی جدید از نظریه‌ی قدیمی پیش‌ریختارگرایی رفع شبهه کرده است. حالا می‌رسیم به دیگر نظریه‌ی مهم جنین‌شناختی، یعنی پس‌زایی، نظریه‌ی طرز تهیه غذا یا کتاب آشپزی.

دستور تهیه، به هیچ وجه نقشه آن کیکی که سرانجام از فِر بیرون می‌آید نیست. به این دلیل که طرز تهیه رشته‌ای یک بُعدی از واژه است ولی کیک یک چیز سه بُعدی است. همان‌طور که دیدیم کاملاً ممکن است با پویش یک مدل سه بُعدی را به صورت رمزینه‌های تک بُعدی تبدیل کرد. اما طرز تهیه نه یک مدل کوچک شده است و نه توصیفی از یک کیک حاضر و آماده و نه ابداً یک بازنمود جزء به جزء، بلکه دستورالعمل است که اگر به ترتیب درست اجرا شود حاصلِ آن کیک است. یک نقشه‌ی کیک که به صورت تک بُعدی رمزدار شده باشد مجموعه‌ای از بُرش‌هایی از آن کیک را شامل می‌شود. به‌طوری‌که انگار میله‌ی نازکی چند بار به صورت منظم افقی و عمودی، از میان کیک رد شده باشد. وضعیت محل مجاور نوک آن میله با فاصله‌های نیم میلی‌متر به صورت رمز ثبت می‌شود، مثلاً چگونگی ترکیب و ترتیب هر کشمش و هر بخش از خمیر وسط از آن داده‌های زنجیره‌ای قابل بازیابی است. به این ترتیب بین هر تکه از کیک و نقشه‌ی مربوط به آن ارتباط دقیق یک‌به‌یکی وجود خواهد داشت. پیداست این نقشه شباهتی به دستور تهیه کیک ندارد. بین تکه‌های کیک و واژه‌های به کار رفته در طرز تهیه هیچ رابطه یک‌به‌یکی وجود ندارد. اگر واژه‌های طرز تهیه به چیزی ربط داشته باشد، آن چیز تک‌تکِ تکه‌های کیک آماده نیست بلکه تک‌تک مراحلی است که در ساختن کیک باید صورت گیرد.

ما اکنون هر چیز، یا درواقع بیش‌تر چیزها، را در مورد این‌که حیوانات چگونه از تخم بارور شده، پدید می‌آیند نمی‌دانیم. با وجود این، شواهد تا حد زیادی به نفع این است که ژن به دستور تهیه خیلی شبیه‌تر است تا به نقشه. قیاس آن با طرز تهیه درواقع قیاس به جایی است ولی قیاس با نقشه از هر نظر اشتباه است گرچه با سهل‌انگاری در اغلب کتاب‌های درسیِ سطوح پایین، مخصوصاً در کتاب‌های جدید

به کار رفته است. رشد جنین یک فرایند است. ترتیب منظمی از رویدادهاست که یکی بعد از دیگری رخ می‌دهد، مثل مراحل تهیه یک کیک، با این تفاوت که در رشد جنین میلیون‌ها مرحله وجود دارد و مراحل مختلف همزمان در بخش‌های مختلف آن «غذا» در حال اجرا است. بیش‌تر این مراحل شامل تکثیر سلول است؛ تولید سلول‌های فوق‌العاده زیادی که بعضی می‌میرند و بعضی دیگر به هم می‌پیوندند و با هم عضوها، بافت‌ها و دیگر ساختارهای پُرسلول را می‌سازند. همان‌طور که در فصل قبل دیدیم، چگونگی رفتار یک سلول خاص به ژن‌های آن بستگی ندارد – زیرا همه‌ی سلول‌های درون بدن شامل مجموعه ثابتی از ژن‌ها هستند – بسته به این است که در آن سلول کدام زیر مجموعه از ژن‌ها فعال باشند. در هر جای از یک بدنِ در حال رشد، در هر لحظه خاص از رشد، فقط تعداد کمی از ژن‌ها چراغ‌شان روشن است. در بخش‌های مختلف یک جنین، در مراحل مختلف رشد، چراغ ژن‌های متفاوتی فعال می‌شود این‌که در هر لحظه، در هر سلول کدام ژن‌ها روشن باشند دقیقاً بستگی به وضعیت شیمیایی آن سلول دارد. آن وضعیت هم به نوبه‌ی خود به شرایط قبلی در آن قسمت از جنین مربوط می‌شود.

علاوه بر این، تأثیری که یک ژن بعد از روشن شدن چراغش می‌گذارد بسته به آن چیزی است که در آن بخش از جنین وجود دارد و می‌تواند تأثیر بگیرد. ژنی که در سلولی در انتهای ستون فقرات در هفته‌ی سوم رشد است اثرش کاملاً فرق دارد با اثر روشن شدن همان ژن در سلول‌های شانه در هفته‌ی شانزدهم رویش. بنابراین اثر ژن چیزی نیست که تنها ناشی از خود ژن باشد، بلکه کیفیتی است که از تعامل ژن با تاریخچه جدید محیطی که در آن جنین است حاصل می‌شود. به این دلیل، این تصور که ژن چیزی به مثابه‌ی نقشه‌ای برای بدن است، بی‌معنا به نظر می‌رسد. اگر یادتان باشد، در مورد بیومورف‌های کامپیوتری هم همین‌طور بود.

بنابراین تناظر ساده‌ی یک‌به‌یکی بین ژن‌ها و بخش‌های بدن، چیزی که بیش از رابطه بین واژه‌های طرز تهیه و تکه‌های کیک باشد، وجود ندارد. در مجموع، ژن‌ها

را می‌توانیم مجموعه‌ای دستورالعمل برای انجام یک فرایند در نظر بگیریم. برای خواننده ممکن است این سؤال باقی بماند که در آن صورت متخصصان ژنتیک چگونه امرار معاش می‌کنند، چگونه ممکن است از ژن آبی بودن چشم یا ژن کورْرنگی صحبت کرد چه رسد به تحقیق درباره‌ی آن‌ها. آیا این امر که متخصص‌های ژنتیک می‌توانند اثرهای تنها یک ژن را بررسی کنند، حاکی از این نیست که در حقیقت باید نوعی ارتباط بین هر ژن و بخشی از بدن وجود داشته باشد؟ آیا این دلیلی بر اثبات عکس هر آن‌چه که من درباره‌ی ژن گفته‌ام که دستورالعملی برای رشد است، نیست؟ نه یقیناً چنین نیست و مهم است بدانیم چرا.

شاید بهترین راهِ نگاه، به این مسئله این است که به همان موضوع قیاس با طرز تهیه برگردیم. خواهیم دید که نمی‌توان کیک را به تکه‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن تقسیم کرد و گفت «این تکه مربوط به اولین واژه‌ی طرز تهیه است و این تکه دیگر مربوط به دومین واژه‌ی طرز تهیه» و همین‌طور تا آخر. بنابراین متوجه می‌شویم کل طرز تهیه به کل کیک مربوط می‌شود. ولی حالا فرض کنید واژه‌ای در آن دستور تهیه عوض شود، مثلاً بیکینگ پودر (گرد کیک‌پزی) حذف یا تبدیل به خمیر مایه (yeast) شود. با توجه به دستور جدید، ما صد کیک درست می‌کنیم و تفاوت آن‌ها به خاطر تغییر یک واژه در دستور تهیه است. گرچه بین ذرات کیک و واژه‌ها هیچ رابطه‌ی یک‌به‌یکی برقرار نیست ولی بین تغییر یک واژه و تغییر کل کیک رابطه‌ی یک‌به‌یک برقرار است. بیکینگ پودر به هیچ بخش بخصوصی از کیک مربوط نمی‌شود. اثر آن روی پُف کردن کیک و بنابراین در شکل نهایی کل کیک دیده می‌شود. اگر بیکینگ پودر حذف یا به جایش آرد گذاشته شود، کیک پف نخواهد کرد. اگر به جای بیکینگ پودر خمیرمایه به کار رود کیک پف می‌کند ولی بیش‌تر طعم نان را خواهد داشت. تفاوت بین کیکی که با استفاده از دستور اصلی تهیه شده و کیکی که از روی دستور «جهش» یافته تهیه شده قابل تشخیص است، بدون این‌که ذره‌ی خاصی از آن کیک با آن واژه‌ی تغییر یافته مرتبط باشد. این قیاس مناسبی است برای نشان دادن

این‌که وقتی ژن جهش پیدا می‌کند چه چیزی رخ می‌دهد.

یک قیاس بهتر از این، تغییر دادن دمای فر از ۳۵۰ درجه به ۴۵۰ درجه است. کیکی که در دمای جهش‌یافته، طبق آن دستوری که در آن دما بالاتر است، پخته می‌شود، صورت دیگری خواهد داشت، نه فقط در یک بخش بلکه همه جای ذرات آن در مقایسه با آن کیکی که طبق دستور اولیه با حرارت پایین‌تر پخته شده فرق دارد. ولی این هنوز صورت فوق‌العاده ساده‌ای است. برای همانند کردن آن با طرز تهیه‌ی یک بچه، نباید فقط یک فرایند را در یک فِر در نظر بگیریم، بلکه باید توده‌ی درهم برهمی از تسمه نقاله‌ها را مجسم کنیم که از قسمت‌های مختلف آن «پختنی» از میان ده میلیون اجاق مینیاتوری که به صورت سری و موازی قرار دارند می‌گذرند، و در هر اجاق از طعم آن ده هزار مواد اولیه که با هم درآمیخته شده ترکیب متفاوتی پیدا می‌شود. در قیاس با آشپزی این نکته که ژن‌ها نقشه نیستند بلکه دستورالعمل انجام یک فرایندند را از آن طرف مقایسه که پیچیده‌تر است بهتر می‌توان درک کرد تا از طرف ساده‌ی آن.

الان وقت آن است که این آموزه را در مورد مسئله اکتسابی بودن صفات ارثی به کار ببندیم. نکته‌ی مهم در مورد ساختن چیزی از روی نقشه، برخلاف ساختن چیزی از روی دستور تهیه این است که این فرایند برگشت‌پذیر است. اگر شما خانه‌ای داشته باشید می‌شود از روی آن نقشه‌ای تهیه کرد. خیلی ساده همه‌ی ابعاد خانه را اندازه بگیرید و آن را در مقیاس کوچک رسم کنید. پیداست اگر قرار باشد حالت خاصی پیدا کند مثلاً دیوارهای داخلی برداشته شود و طبقه همکف به شکل بازتری در بیاید، آن نقشه‌ای که از روی ساختمان تهیه می‌شود این تغییرات را در بر خواهد داشت. اگر ژن‌ها توصیفی از بدن یک موجود بالغ بودند درست همین‌طور بود. اگر ژن‌ها نقشه بدن بودند، به راحتی می‌شد تصور کرد هر کیفیتی را که بدن طی سال‌ها زندگی کسب کرده، با امانت به صورت رمز ژنی بازنویسی و به این ترتیب به نسل بعد انتقال می‌دهد. در نتیجه پسر یک آهنگر حاصل فعالیت بدنی پدرش را به ارث

می‌برد، به این دلیل که ژن‌ها دستورالعمل‌اند نه نقشه، این کار ممکن نیست. ما نمی‌توانیم تصور کنیم صفات اکتسابی منتقل می‌شوند چنان‌که در مورد زیر چنین نیست. کیکی را در نظر بگیرید که یک قاچ از آن را بریده و برداشته‌اند. حالا توصیف این تغییر را وارد طرز تهیه آن کنیم، و طرز تهیه طوری تغییر کند که کیک‌های بعدی که با این دستور تغییر یافته درست شوند، همه وقتی از فِر بیرون می‌آیند به صورت مرتبی آن یک قطعه را نداشته باشند.

به‌طور سنتی لامارکی‌ها به پینه‌ی دست ارادت دارند. پس بهتر است از همان به عنوان مثال استفاده کنیم. آن کارمند بانک فرضی ما دستش نرم و صاف بود جز پینه‌ای که روی انگشت وسط دست راستش داشت، انگشتی که فشار نوشتن روی آن بود. اگر نسل‌های زاده او همه کار نوشتنی زیاد انجام دهند، لامارکی‌ها انتظار دارند ژن‌هایی که رویش پوست را در آن ناحیه کنترل می‌کنند طوری تغییر کنند که بچه‌هایی که به دنیا می‌آیند آن انگشت‌شان از پیش زُمخت باشد. اگر ژن‌ها نقشه بودند این کار راحت بود. برای هر میلی‌متر مربع (یا هر واحد کوچک‌تر) از سطح پوست، ژنی وجود می‌داشت؛ همه‌ی سطح پوست یک کارمند بزرگسال بانک پویش (scan) می‌شد، میزان خشکی هر میلی‌متر مربع به دقت ثبت می‌شد و فیدبک آن به ژن مربوط به آن میلی‌متر مربع خاص برمی‌گشت، مخصوصاً به ژن‌های مربوطه در اسپرم او.

ولی ژن‌ها نقشه نیستند. این‌که برای هر میلی‌متر مربع ژنی وجود داشته باشد معنادار نیست. این‌که بشود گفت بدن بزرگسال را می‌توان پویش کرد و فیدبک توصیف آن را به ژن‌ها برگرداند بی‌معنی است. این‌طور نیست که بتوان مختصات پینه را در سابقه‌ی ژنی «جستجو» کرد و ژن تغییر یافته را یافت. رویش جنین فرایندی است که در آن همه‌ی ژن‌ها شرکتِ فعال دارند؛ فرایندی است که اگر به درستی پیش رود نتیجه‌اش یک بدن بالغ است. اما این فرایند ذاتاً و بنابر طبیعت خودش برگشت‌ناپذیر است. صفات اکتسابی نه‌تنها به ارث نمی‌رسند، بلکه در هیچ

صورتی از حیات که در آن رویش جنین به صورت پس‌زایی باشد، نه پیش‌ریختاری، چنین چیزی ممکن نیست. هر زیست‌شناس پیرو لامارکیسم، گرچه ممکن است از شنیدن این خبر یکه بخورد، ولی حقیقت این است که به‌طور غیرمستقیم دارد از جنین‌شناسی ذره‌گرا[۱]، جبرگرا[۲] و تقلیل‌گرا[۳] جانبداری می‌کند. منظور من ردیف کردن اصطلاح‌های تخصصی قلمبه سلمبه برای خواننده‌های معمولی نیست. فقط نتوانستم جلوی خودم را بگیرم و این کنایه را نزنم. چون زیست‌شناسانی که امروز از لامارکیسم حمایت می‌کنند، خیلی علاقه دارند برای کوبیدن دیگران از این اصطلاحات استفاده کنند.

همه‌ی این‌ها به این معنی نیست که ممکن نیست در جایی از جهان نظام حیات غیرمعمولی وجود داشته باشد که در آن رشد جنین صورت پیش‌ریختار داشته باشد؛ صورتی از حیات که واقعاً «نقشه ژنی» داشته باشد و بنابراین در آن به واقع صفات اکتسابی به ارث برسند. همه آن‌چه تا به حال نشان داده‌ام این است که لامارکیسم با جنین‌شناسی، به آن صورت که ما می‌شناسیم، سازگار نیست. ادعای من در ابتدای این فصل پُرمایه‌تر بود: حتی اگر صفات اکتسابی به ارث برسند، باز نظریه‌ی لامارکی کفایت توضیحِ تکامل سازشی را ندارد. این ادعا به‌قدری محکم است که در مورد هر صورتی از حیات در هر جای جهان صدق می‌کند. اساس آن، دو رشته دلیل است: یکی شامل مسائل مربوط به اصل استفاده و عدم استفاده است و دیگری با مشکلاتِ دیگرِ توارث اکتسابی سروکار دارد. من به ترتیبِ عکس به این دو می‌پردازم.

مشکلِ مربوط به صفات اکتسابی کلاً از این قرار است که حرفی در به ارث رسیدن صفات اکتسابی نیست ولی همه‌ی صفات اکتسابی پیشرفت محسوب

---

۱ Atomistic

۲ Deterministic

۳ Reductionistic

نمی‌شوند. درواقع اکثر آن‌ها آسیب‌اند. واضح است اگر صفات اکتسابی به صورت کورکورانه به ارث برسند، پای شکسته و جای زخم آبله درست مثل پای زُمخت شده یا پوست آفتاب سوخته به ارث برسد، دیگر تکامل در جهت کلیِ پیشرفت‌های سازشی پیش نخواهد رفت. در بیش‌تر صفاتی که هر دستگاه با مسن‌تر شدن خود کسب می‌کند، این تمایل وجود دارد که انباشتی از آسیب‌های پدید آمده در طول عمر دستگاه باشد: زمان می‌فرساید. اگر می‌شد با نوعی پویش آن‌ها را جمع‌آوری کرد، به شکل نقشه‌ای برای نسل بعد در می‌آمدند، نسل‌های پی‌درپی رفته‌رفته زهوار دررفته‌تر می‌شدند. به جای این‌که زندگی هر نسل جدید، از یک نقشه جدید سرحال شروع شود، بر اثر پوسیدگی و آسیب‌های انباشته شده از نسل قبل، تحمیلی و آسیب دیده می‌شد.

این مشکل لزوماً غیرقابل حل نیست. نمی‌توان انکار کرد که بعضی از صفات اکتسابی پیشرفت هستند و بر اساس اصول نظری می‌توان گفت که ساز و کار توارث ممکن است به نحوی بین پیشرفت و آسیب تمایز قائل شود، اما حیرت از چگونگی امکان این تشخیص، ممکن است ما را وادارد این سؤال را بپرسیم که چرا صفات اکتسابی گاهی پیشرفت هستند. مثلاً، چرا آن نواحی از پوست که مورد استفاده قرار می‌گیرند، مثل پاشنه‌های یک دونده‌ی پابرهنه، ضخیم‌تر و سفت‌تر می‌شود؟ در ظاهر، باید احتمال بیش‌تر این باشد که پوست نازک‌تر شود، در اغلب دستگاه‌ها، قسمت‌هایی که بیش‌تر اصطکاک دارند نازک‌تر می‌شوند به این دلیلِ واضح که ساییده شدن باعث برداشته شدنِ ذرات از چیزی می‌شود نه افزودن به آن.

البته هر پیرو داروینی پاسخ آماده‌ای برای این سؤال دارد، پوستی که در معرض سایش است ضخیم‌تر می‌شود زیرا انتخاب طبیعی در اجداد گذشته به آن‌هایی برتری داده که به‌طور اتفاقی پوست‌شان به این ترتیب به سایش واکنش نشان داده است. به طریق مشابه، انتخاب طبیعی به آن افرادی از نسل‌های قبل برتری داده که وقتی در معرض نور خورشید قرار گرفتند، قهوه‌ای شدند. از نظر پیرو *داروین* تنها دلیل این‌که

تعداد محدودی از صفات اکتسابی پیشرفت محسوب می‌شوند این است که در زیربنای آن‌ها از قبل، یک انتخاب داروینی وجود دارد. به عبارت دیگر، از قرار معلوم فقط در صورتی فرضیه لامارکی می‌تواند پیشرفت‌های تکاملی سازشی را توضیح دهد که بر گُرده‌ی نظریه داروینی سوار شود. با فرض بر این‌که در زیربنا، انتخاب داروینی وجود داشته که ضامن بعضی از صفات اکتسابی باشد، و ساز و کار مفیدی برای تشخیص صفات اکتسابیِ مفید از صفات بی‌فایده موجود باشد، آن وقت ممکن است توارثِ صفاتِ اکتسابیِ مفید به‌طور قابل قبولی به بعضی پیشرفت‌های تکاملی منجر شود. اما به‌طوری‌که معلوم است، آن پیشرفت تماماً در گرو آن زیربنای داروینی است. ما مجبوریم برای توضیح جنبه‌ی سازشیِ تکامل باز به داروینیسم برگردیم.

همین موضوع در مورد آن دسته از پیشرفت‌های اکتسابیِ نسبتاً مهم‌تر، که همه را زیر عنوان یادگیری، یکپارچه می‌کنیم، نیز صادق است. هر جانداری در دوره‌ی زندگی‌اش در کار تهیه‌ی روزیِ خود به تدریج ماهرتر می‌شود. یاد می‌گیرد چه چیز برای او خوب است و چه چیز خوب نیست. ذهنش انباری از خاطرات درباره‌ی دنیایش است. خاطره‌هایی شامل این‌که کدام اعمال به نتایج مورد نظر منجر می‌شوند و کدام نتیجه‌ی ناخوشایند دارند. بنابراین بیش‌تر رفتارهای یک جاندار تحت عنوان صفات اکتسابی قرار می‌گیرد. و بیش‌تر این نوع اکتساب – یادگیری – را باید واقعاً پیشرفت دانست. اگر پدر و مادرها می‌توانستند دانایی حاصل از یک عمر تجربه را در ژن‌های‌شان ثبت کنند، به صورتی که بچه‌های آن‌ها با مجموعه‌ای از تجربه‌های قبلی که در بدن‌شان کارسازی شده و آماده‌ی بُروز است به دنیا می‌آمدند، آن بچه‌ها می‌توانستند زندگی را از یک گام جلوتر شروع کنند. درواقع اگر مهارت‌های کسب شده و دانایی به صورت خودکار در ژن‌ها کارسازی شود، ممکن است پیشرفت تکاملی سرعت بگیرد.

اما پیش‌فرض همه این‌ها این است که آن تغییرات رفتاری را که ما یادگیری

نامیده‌ایم به واقع پیشرفت باشند. چه لزومی دارد که حتماً پیشرفت محسوب شوند؟ درواقع جانداران یاد می‌گیرند آن‌چه را برای‌شان خوب است انجام دهند، نه آن چیزی را که برای‌شان بد است. ولی چرا؟ در حیوانات این گرایش وجود دارد که از کارهایی که قبلاً به درد منجر شده دوری کنند. ولی درد یک واقعیت مادی نیست. درد چیزی است که مغز آن را درد محسوب می‌کند. جای خوشبختی است آن رخدادهایی که دردناک تلقی می‌شوند، مثل پارگی شدید در سطح بدن، اتفاقاً همان رخدادهایی هستند که بقای جاندار را به مخاطره می‌اندازند. ولی می‌توان به آسانی نژادی از جانداران را مجسم کرد که از جراحت و دیگر رخدادهایی که بقای‌شان را به خطر می‌اندازد، لذت می‌برند؛ نژادی از جانداران که ساختار مغزش طوری است که از آسیب خوشش می‌آید و آن محرک‌های دردناک برای او چون خوردنیِ خوش طعمی، گوارا و زندگی‌بخش است. دلیل داروینیِ این‌که ما چنین جانداران خودآزاری را در دنیا نمی‌بینیم این امر واضح است که اجداد خودآزار زنده نماندند تا زادگانی داشته باشند که خودآزاری را از آن‌ها به ارث ببرند. ما شاید بتوانیم با انتخاب مصنوعی در قفس‌های دُشکچه‌دار، در شرایط گرم و نرمی که بقا را تضمین می‌کند، با کمک تیمی از دامپزشکان و دستیاران آن‌ها، نژادی از خودآزارهای ذاتی را پرورش دهیم. ولی در طبیعت، چنین خودآزارهایی زنده نمی‌مانند. و به این دلیل مهم است که تغییراتی که ما آن‌ها را یادگیری نام نهاده‌ایم بیش‌تر پیشرفت محسوب می‌شوند نه عکس آن. دوباره به این نتیجه رسیدیم که یک زیربندی داروینی باید حضور داشته باشد تا اطمینان حاصل شود صفات اکتسابی دارای امتیازند.

حالا برمی‌گردیم به اصل استفاده و عدم استفاده. به نظر می‌رسد این اصل در مورد برخی از جنبه‌های پیشرفت‌های اکتسابی کارآمدتر است. البته این اصل یک قاعده‌ی کلی است و به جزئیات خاص بستگی ندارد. این قاعده به سادگی می‌گوید: «هر بخشی از بدن که زیاد به کار افتد، بزرگ‌تر می‌شود و هر بخشی که به کار نرود کوچک‌تر می‌شود و حتی به تدریج از بین می‌رود.» از آن‌جا که می‌توانیم انتظار داشته

باشیم در کل بزرگ‌تر شدن به نفع بخش‌های مفید (و بنابراین لابد پُرکاربرد) باشد در حالی‌که بخش‌های بی‌فایده‌ی بدن (و بنابراین کم‌کاربرد) ممکن است اصلاً دیگر وجود نداشته باشد، به نظر نمی‌رسد که این قاعده می‌تواند مزیت فراگیری داشته باشد. با این حال، این اصل استفاده و عدم استفاده مشکل بزرگ دیگری دارد و آن این است که حتی اگر هیچ مخالفت دیگری با آن در بین نباشد، ابتدایی‌تر از آن است که به عنوان ابزاری در طراحی سازه‌های بسیار ظریف و دقیقی که ما عملاً در جانوران و گیاهان می‌بینیم نقش داشته باشد.

قبلاً چشم مثال مناسبی بود. حالا چرا از آن استفاده نکنیم؟ به همه‌ی آن اجزاء پیچیده‌ای که به‌طور بغرنجی هماهنگ با یکدیگر کار می‌کنند فکر کنید: عدسی که به وضوحِ تمام نور را عبور می‌دهد، اِشکال رنگ را اصلاح و بدشکلی کره چشم را رفع می‌کند؛ ماهیچه‌هایی که می‌توانند عدسی را آناً روی هر هدفی، از فاصله‌ی چند سانتی تا بی‌نهایت دور، متمرکز کنند؛ پرده‌ی عنبیه که با ساز و کار «دیافراگمی» خود مدام ورود نور به چشم را به دقت تنظیم می‌کند، مثل دوربینی که یک نورسنج کامپیوتری پُرسرعت ویژه درونش کار گذاشته شده باشد؛ شبکیه‌ای با ۱۲۵ میلیون سلول نوری برای رمزگذاری رنگ‌ها؛ شبکه‌ی ظریف رگ‌های خونی که به تمام دستگاه سوخت می‌رساند؛ حتی آن شبکه‌ی ظریف‌تر اعصاب که معادل سیم‌ها و اتصالات تراشه‌های الکترونیکی است. همه‌ی این پیچیدگی ظریفِ خوش‌ساخت را در نظر بگیرید آن وقت از خودتان بپرسید آیا ممکن است این‌ها از طریق اصل استفاده یا عدم استفاده پیدا شده باشند. از نظر من پاسخ این سؤال یک «نه» کاملاً آشکار است.

عدسی شفاف است و اشکالات مربوط به کره چشم و رنگ را رفع می‌کند. آیا ممکن است چنین چیزی فقط بر اثر «استفاده» ایجاد شود؟ آیا ممکن است عدسی فقط به خاطر این‌که مقدار زیادی نور از آن عبور کرده کاملاً شفاف شود؟ آیا عدسیِ بهتری شده چون بیش‌تر مورد استفاده واقع شده، برای این‌که نور از میانش رد شده

است؟ البته چنین نیست. چرا باید این‌طور باشد؟ آیا فقط به این دلیل که پرتوِ نورِ رنگ‌های مختلف به شبکیه باریده است، سلول‌های آن خود را به سه دسته‌ی جداگانه‌ی حساس به رنگ دسته‌بندی کرده‌اند؟ باز چرا چنین است؟ در مورد ماهیچه‌های متمرکز کننده، درست است که تمرین و کار آن‌ها باعث می‌شود درشت‌تر و قوی‌تر شوند اما این به تنهایی نمی‌تواند باعث شود تصاویر را تا آن حد دقیق کنند. حقیقت این است که اصل استفاده و عدم استفاده اصلاً توانایی سازندگی در چیزی را ندارد مگر سازگاری‌های بسیار ابتدایی و ساده را.

ولی انتخاب داروینی بدون هیچ مشکلی کوچک‌ترین جزئیات را توضیح می‌دهد. بینایی خوب، دیدن جزئیات به صورت دقیق و درست، برای یک جاندار می‌تواند به مرگ و زندگی او مربوط شود. یک عدسی که درست متمرکز شده و در مقابل انکسار تنظیم شده است می‌تواند [در این‌که پرنده‌ی تیزپروازی مثل بادخورک (swift) را در شکار یک مگس موفق کند یا او را محکم به صخره‌ای بکوبد] نقش بسیار زیادی داشته باشد. پرده‌ی عنبیه‌ای که خوب تطابق کند، وقتی در مقابل نور آفتاب خود را جمع می‌کند، می‌تواند در این‌که جانوری بتواند حیوان حمله‌کننده‌ای را به‌موقع ببیند و بگریزد یا آن لحظات سرنوشت‌ساز را گیج بگذراند، تعیین کننده باشد. هر پیشرفتی در کارآیی بیش‌تر چشم، صرف نظر از این‌که چه اندازه جزئی است یا تا چه حد پنهان در درون بافت‌های داخلی جا گرفته است، می‌تواند با بقای جاندار و در نتیجه با امکان تکثیر ژن‌هایی که باعث ایجاد این پیشرفت می‌شوند رابطه داشته باشد. بنابراین انتخاب داروینی می‌تواند تکامل‌های سازنده را توضیح دهد. نظریه داروینی می‌تواند تکامل ابزارهای مناسب برای بقا را به عنوان نتیجه مستقیم مناسب بودن آن‌ها برای بقا توضیح دهد. در این مورد، ارتباط بین توضیح و آن چیزی که باید توضیح داده شود مستقیم و مبسوط است.

در طرف دیگر، نظریه‌ی لامارکی به ارتباطی سست و خام تکیه می‌کند: به این قانون که هر چیزی که زیاد استفاده می‌شود اگر بزرگ‌تر باشد بهتر است. یعنی باید به

همبستگی اندازه‌ی یک عضو با کارآیی آن تکیه کنیم. اگر این همبستگی وجود داشته باشد، یقیناً ارتباط بسیار ضعیفی است. ولی نظریه داروینی روی همبستگی کارآیی یک عضو و اثری که می‌گذارد تکیه می‌کند: ارتباطی که یقیناً کامل است! این اشکال نظریه‌ی لامارکی فقط به واقعیت‌های دقیق و مفصلی که در صورت‌های خاص حیات که در این سیاره ما دیده می‌شود مربوط نیست. یک اشکال کلی است که در مورد هر نوع پیچیدگی سازشی وجود دارد و من فکر می‌کنم به حیات در هر جای جهان مربوط شود، صرف نظر از این‌که آن صورت از حیات در جزئیات تا چه اندازه متفاوت و عجیب باشد.

بنابراین دلایل ما برای رد لامارکیسم کمی تند است. اولاً، فرض اولیه آن، یعنی به ارث رسیدن صفات اکتسابی، در همه‌ی صورت‌های حیات که مطالعه کرده‌ایم نادرست به نظر می‌رسد. دوماً نه‌تنها در آن موارد نادرست است بلکه در مورد هر صورتی از حیات که بر مبنای جنین‌شناختی پس‌زایی (طرز تهیه)، نه پیش‌ریختاری (نقشه‌ای)، است باید نادرست باشد. و این همه‌ی آن صورت‌های حیات را که ما بررسی کرده‌ایم شامل می‌شود. سوم این‌که حتی اگر نظریه لامارکیسم درست می‌بود، این نظریه، به دو دلیل کاملاً جداگانه، توان توضیح تکاملِ موارد بغرنجِ پیچیدگی‌های سازشی را نه‌تنها روی کره زمین بلکه در هر جای دیگر این جهان نداشت. بنابراین قضیه از این قرار نیست که لامارکیسم رقیبی برای داروینیسم بوده ولی اشتباه از آب درآمده باشد. لامارکیسم اصلاً رقیب داروینیسم نیست. این نظریه را حتی یک نامزد جدی برای توضیح پیچیدگی‌های سازشی نمی‌توان محسوب کرد. ولی بازی سرنوشت از ابتدا آن را رقیب بالقوه داروینیسم قرار داده است.

چند نظریه دیگر هم جایگزینی برای انتخاب داروینیسم به‌شمار می‌آمدند و هنوز هم گاهی چنین است. یک بار دیگر من نشان خواهم داد که آن‌ها هم اصلاً رقیبانی جدی به‌شمار نمی‌آیند. نشان خواهم داد (درواقع کاملاً آشکار است) که این جایگزین‌های احتمالی – بی‌طرف‌گرایی، جهش‌باوری و غیره – ممکن است

پاسخگوی بخشی از تغییرات تکاملی مشاهده شده باشند یا نباشند ولی نمی‌توانند تغییرات سازشی، یعنی آن تغییراتی را که در جهت شکل‌گیری اندام‌های پیشرفته‌ای برای زنده ماندن، مانند چشم، گوش، مفصل آرنج و ابزارهای پژواک‌سنج صورت می‌گیرد، را تعیین کنند. البته مقدار زیادی از تغییرات تکاملی ممکن است غیرسازشی باشند، که در آن صورت ممکن است این نظریه‌های جایگزین در آن بخش‌های تکامل اهمیت پیدا کنند، اما این فقط به بخش‌های کسالت‌آور تکامل برمی‌گردد نه به آن بخش‌هایی که در تعیین مرگ و زندگی جاندار نقش دارند. این موضوع مخصوصاً در مورد نظریه بی‌طرفی تکامل کاملاً واضح است. این ماجرا تاریخی طولانی دارد ولی در آن در صورت مدرنش در قالب زیست‌شناسی مولکولی با کمک دانشمند بزرگ ژنتیک، *موتوکیمورا* (Moto Kimura) از ژاپن آسان شده است. این دانمشند با سبک نگارش انگلیسی خود چه بسا انگلیسی‌زبان‌ها را شرمنده کرده است.

ما قبلاً نظریه *بی‌طرفی* را به‌طور مختصر دیدم. موضوع این است که روایت‌های متفاوت از یک مولکول، مثلاً روایت‌هایی از مولکول هموگلوبین که در توالی اسیدهای امینه با هم تفاوت دارند، دقیقاً چیزی از هم کم ندارند. به این معنی که جهش از یک روایت به روایت دیگر از دیدگاه انتخاب طبیعت «خنثی» است. بی‌طرف‌ها معتقدند اکثر تغییرات تکاملی، در سطح ژنتیک مولکولی خنثی هستند یعنی از نقطه‌نظر انتخاب طبیعی تصادفی‌اند. در مکتب دیگری از متخصصان ژنتیک، به نام انتخاب‌گرایان[۱]، اعتقاد بر این است که انتخاب طبیعی نیروی مؤثری است حتی در حد جزئیات در هر نقطه از زنجیره‌ی مولکولی.

مهم این است که بین این دو سؤال جدا از هم تمایز قائل شویم. اول سؤالی است که به این فصل مربوط می‌شود، آیا می‌توان بی‌طرفی را جایگزینی برای انتخاب طبیعی جهت توضیح سازندگی‌های تکامل قرار داد. سؤال دوم و کاملاً جدا از این،

۱ Selectionists

این است که آیا بیش‌تر تغییرات تکاملی که عملاً صورت می‌گیرد برای سازش است. اگر فرض بر این باشد که بحث ما بر سر تغییر تکاملی یک صورت مولکول به صورت دیگر آن است، چقدر احتمال دارد که آن تغییر حاصل انتخاب طبیعی باشد و تا چه حد ممکن است آن تغییر خنثی حاصل یک حرکت تصادفی باشد؟ در مورد این سؤال دوم، بر سر این یا آن بودن مسئله بحث مفصلی میان متخصصان ژنتیک درگرفت، که زمانی این طرف دست بالا را داشت زمانی آن طرف دیگر، اما اگر ما توجه‌مان را به سمت سازش‌ها معطوف کنیم – سؤال نخست – می‌بینیم فقط از کاه کوه ساختن است. تا آن‌جا که به ما مربوط می‌شود ممکن نیست جهشِ خنثی وجود داشته باشد. زیرا نه ما می‌توانیم آن را ببینیم نه انتخاب طبیعی، وقتی ما از دست و پا و بال و چشم و رفتار بحث می‌کنیم، جهش خنثی اصلاً جهش محسوب نمی‌شود. اگر بخواهیم باز از همان قیاس دستور تهیه استفاده کنیم، می‌شود گفت اگر بعضی از واژه‌های طرز تهیه جهش پیدا کنند به این صورت که طرز نوشتن[1] حروف‌شان عوض شود. طعم غذا همان خواهد بود. از نظر کسانی که چگونگی غذای آماده برای‌شان مهم است، دستور تهیه همان است که بود، چه حروفش این‌طور نوشته شود یا *این‌طور* یا **این‌طور**. متخصصان ژنتیک مولکولی حروف‌چین‌های پُر وسواسی هستند. برای‌شان خطی که کلمات طرز تهیه با آن نوشته می‌شود بسیار مهم است. این موضوع برای انتخاب طبیعی مهم نیست، ما هم نباید وقتی موضوع بحث تکامل‌های سازشی است زیاد اهمیت دهیم. وقتی سروکار ما با جنبه‌های دیگر تکامل، مثلاً سرعت تکامل در دودمان‌های مختلف است، جهش خنثی یک چیز حاشیه‌ای است.

متعصب‌ترین طرفدارِ بی‌طرفی با روی خوش قبول دارد که انتخاب طبیعی تعیین کننده‌ی همه‌ی سازش‌هاست. اصل حرف او این است که بیش‌تر تغییرات تکاملی سازشی نیستند. گرچه ممکن است نحله‌ای از متخصصان ژنتیک او را تأیید نکنند

[1] Print font

ولی شاید حق با او باشد. من از کنار گود آرزو می‌کنم که بی‌طرف‌ها برنده شوند، زیرا در این صورت کار برای سر در آوردن از روابط تکاملی و سرعت تکامل خیلی آسان‌تر است. هر یک از افراد دو طرف قبول دارند که تکامل خنثی نمی‌تواند باعث ایجاد پیشرفت‌های سازشی شود، به این دلیل ساده که تکامل خنثی، طبق تعریف، تصادفی است و پیشرفت سازشی، طبق تعریف، غیرتصادفی است. باز هم ما در یافتن جایگزینی برای انتخاب داروینی، به عنوان چیزی که بتواند آن مشخصه‌هایی از حیات را که باعث تمایز آن از غیرحیات می‌شود مثلاً پیچیدگی سازشی را توضیح دهد، ناکام شده‌ایم.

حالا می‌رسیم به رقیب دیرینه‌ی داروینیسم – نظریه‌ی «جهش‌باوری». اکنون درکش برای ما مشکل است ولی در سال‌های ابتدایی این قرن (قرن بیستم) وقتی از پدیده‌ی جهش برای اولین بار نام برده شد، آن را نظریه‌ای جانشین تکامل محسوب می‌کردند، نه چیزی که بخشی ضروری از داروینیسم باشد. نحله‌ای از متخصصان ژنتیک وجود داشت که جهش‌باور خوانده می‌شد و اسم شخصیت‌های معروفی مانند *هوگو دو وریس* و *ویلیام باتسن* را در میان آن‌ها که دوباره اصل توارث مندل را کشف کرده بودند و *ویلهلم یوهانسن* کسی که نخستین بار کلمه ژن را به کار برد، و *توماس هانت مورگان* پدر تئوری کروموزوم توارث را شامل می‌شد. *دو وریس* مخصوصاً تحت تأثیر بزرگی تغییراتی که جهش می‌توانست ایجاد کند، معتقد بود گونه‌های جدید همیشه تنها از تک جهش‌های بزرگ ناشی می‌شوند. او و یوهانسن بیش‌تر تنوعِ درونِ گونه‌ها را غیرژنتیکی می‌دانستند. همه جهش‌باوران را اعتقاد بر این بود که حداکثر نقش انتخاب در تکامل در حد و جین علف هرز است. نیروی آفریننده‌ی واقعی خودِ جهش است. آن‌ها ژنتیک مندلی را نه آن‌طور که امروز محور اصلی داروینیسم است بلکه چیزی نقطه‌ی مقابل داروینیسم می‌پنداشتند.

برای یک ذهن امروزی خیلی مشکل است که با چیزی غیر از خنده به این موضوع واکنش نشان دهد، اما باید مواظب باشیم آن لحن بزرگ‌منشانه *باتسون* را

تکرار نکنیم که گفت: «ما به *داروین* رو کرده‌ایم به خاطر این‌که مجموعه‌ی غیرقابل مقایسه‌ای از اطلاعات را فراهم آورده است [اما...] برای ما فلسفه‌ی او دیگر اعتباری ندارد. برای ما طرحی که او از تکامل ترسیم کرده به اندازه‌ی نظر *لوکرتیوس*[1] یا *لامارک* خواندنی است.» و باز ادامه می‌دهد «همان‌طور که اکنون اغلب ما می‌بینیم، تغییر توده جمعیت‌ها به وسیله مراحل بی‌شماری که توسط انتخاب هدایت می‌شود، آن‌قدر بی‌ربط به واقعیت است که فقط ما را از توان فهم طرفداران چنین پیشنهادی و هم از مهارت بیانی که در مقبول جلوه دادن آن، ولو برای زمانی کوتاه، به کار برده‌اند به حیرت می‌اندازد.» اما در درجه اول *آر. ای. فیشر* بود که حقیقت را رو کرد و نشان داد نه تنها نظریه توارث مندلی نقطه‌ی مقابل داروینیسم نیست بلکه بخش ضروری آن است.

جهش برای تکامل لازم است ولی در مورد کافی بودنش جای بحث است. تغییرات تکاملی، خیلی بیش‌تر از آن‌که بتوانیم فقط آن‌ها را به حساب شانس بگذاریم، پیشرفت به شمار می‌آیند. مشکل در نظر گرفتن جهش، به عنوان تنها نیروی پیش‌برنده‌ی تکامل، را می‌شود این‌طور ساده کرد: چطور می‌شود از جهش انتظار داشت که «بداند» چه چیز برای جانداری خوب است و چه چیز خوب نیست؟ از میان تمامی تغییرات ممکنی که احتمال رخ دادنش برای دستگاه پیچیده‌ای مثل یک عضو وجود دارد، بیشترشان آن را بدتر می‌کنند. فقط اقلیت بسیار کوچکی از تغییرات در جهت بهتر کردن آن است. از هر کس که جهش بدون انتخاب را نیروی پیش‌برنده تکامل می‌داند باید پرسید، جهش چطور می‌تواند در جهت پیشرفت، کار را پیش ببرد. با چه دانایی جادوییِ کارسازی شده در درون بدن تصمیم می‌گیرد که در جهت بهتر شدن جهش کند نه در جهت بدتر شدن؟ شما ملاحظه می‌کنید که این درواقع همان سؤالی است که در پوششی دیگر، در مقابل لامارکیسم قرار دادیم. لازم به گفتن نیست که جهش‌باوران هرگز پاسخ آن را نداده‌اند. عجیب

[1] Carus Lucretius، شاعر و فیلسوف رومی صاحب اثری به نام De rerum Natura.

این است که اصلاً بعید است این سؤال به ذهن‌شان خطور کرده باشد.

امروزه، به دور از انصاف است که این سؤال برای ما بیهوده به نظر می‌رسد زیرا ذهن ما طوری پرورش یافته که جهش را تصادفی در نظر می‌گیرد. اگر جهش تصادفی باشد، پس بنا به تعریف نمی‌تواند گرایشی به سوی بهتر کردن داشته باشد. البته در مکتب جهش‌باوری، جهش را اتفاقی در نظر نمی‌گیرند. تصور آن‌ها بر این بوده که یک تمایل درونی در بدن وجود دارد که باعث می‌شود تغییرها در جهت خاصی باشند، نه جهات دیگر. ولی این سؤال را که بدن از کجا «می‌داند» چه تغییراتی برای او در آینده مفید است را بدون جواب گذاشته‌اند. وقتی ما نظر آن‌ها را به عنوان تصوراتی بی‌پایه کنار می‌گذاریم، لازم است دقیق و شفاف توضیح دهیم منظور ما از تصادفی بودن جهش چیست. تصادفی داریم تا تصادفی، بسیاری از مردم برداشت‌های متفاوت از واژه‌ی «تصادفی» را با هم اشتباه می‌گیرند. در حقیقت، از خیلی نظرها جهش تصادفی نیست. تأکید من روی این نظر است که این شامل چیزی معادل پیش‌بینی آن‌چه زندگی را برای جاندار بهتر می‌کند نمی‌شود. و لازم است چیزی معادل آن پیش‌بینی وجود داشته باشد تا بتواند، بدون انتخاب، برای توضیح تکامل به کار رود. خوب است در مفهومی کمی گسترده‌تر ببینیم کجا جهش تصادفی هست و کجا نیست.

ابتدا به اولین موردی که در آن جهش غیرتصادفی است می‌پردازیم. جهش‌ها بر اثر رویدادهای طبیعی خاصی پیدا می‌شوند، این‌طور نیست که به صورت خودبه‌خود حادث شوند. آن‌ها حاصل چیزی به نام «جهش‌زا» هستند (که خطرناک است و اغلب باعث بروز سرطان می‌شود): پرتو ایکس، پرتوهای کیهانی، مواد رادیو اکتیو، مواد شیمیایی مختلف و حتی ژن‌های دیگر به نام «ژن‌های جهش‌زا». دومین مورد، این‌طور نیست که همه‌ی ژن‌ها در همه‌ی گونه‌ها به یک اندازه جهش داشته باشند. در کروموزوم، هر جایگاه (ژن) میزانِ جهشیِ خاص خود را دارد. برای مثال، میزان

جهشی که عامل بیماری داءالرقص[۱] (شبیه رقص سنت ویتوس)[۲] است و انسان را در سال‌های اول میان‌سالی می‌کُشد، حدود ۱ در ۲۰۰,۰۰۰ است. این میزان در گورزایی (نقص رشد غضروف) نشانگان آشنای کوتوله‌گی، ویژگی خاص سگ‌های شکاری پا کوتاه و سگ پا کوتاه آلمانی، که در آن‌ها اندازه طول دست و پا نسبت به بدن بسیار کم است، ده برابر بیش‌تر است. این میزان‌ها در شرایط طبیعی اندازه‌گیری شده‌اند. با حضور عامل جهش‌زایی مثل پرتو ایکس، میزان همه جهش‌ها به شدت زیادتر می‌شود. بعضی بخش‌های کروموزوم که اصطلاحاً نقاط داغ نامیده می‌شوند و تغییر ژنی زیادی دارند، جایی است که در آن میزان جهش بسیار بالاست.

سوم این‌که در هر جای کروموزوم، چه «داغ» باشد چه نباشد، احتمال جهش در یک جهت خاص بیش از احتمال جهش در جهت عکس آن است. این موضوع باعث پیدا شدن پدیده‌ای موسوم به «فشار جهش» (mutation pressure) می‌شود که می‌تواند در تکامل تأثیر داشته باشد. برای مثال، حتی اگر دو صورت از مولکول هموگلوبین، فرم ۱ و فرم ۲، از نظر گزینش خنثی باشند، از این نظر که هر دو در حمل اکسیژن در خون به‌طور یکسان عمل کنند، با این حال ممکن است جهش از فرم ۱ به فرم ۲ عادی‌تر باشد تا عکس این حالت، یعنی جهش از فرم ۲ به فرم ۱. در این مورد، گرایش فشار جهش بر این است که فرم ۲ را بیش‌تر از فرم ۱ بسازد. وقتی در یک جای کروموزوم میزان جهش رو به پیش، درست معادل میزان جهش رو به پس آن باشد. می‌گوییم فشار جهش در آن‌جا صفر است.

حالا متوجه می‌شویم این سؤال که آیا جهش واقعاً تصادفی است، سؤال بی‌اهمیتی نیست. جواب این سؤال بستگی به این دارد که منظور ما از تصادفی چه باشد. اگر منظور از «جهش تصادفی» این است که جهش تحت تأثیر رویدادهای بیرونی نیست، آن‌گاه اشعه ایکس عکس نظر تصادفی بودن جهش را اثبات می‌کند.

---

۱ Huntington's chorea

۲ Saint Vitus's Dance

اگر منظور از تصادفی بودنِ جهش این باشد که همه ژن‌ها با احتمال یکسانی ممکن است جهش داشته باشند، آن‌گاه نقاط داغ نشان می‌دهند که جهش تصادفی نیست. اگر فکر کنیم «جهش تصادفی» به این معنی است که در همه جای کروموزوم فشار جهش صفر است، آن‌گاه باز جهش نمی‌تواند تصادفی باشد. فقط در صورتی که تصادفی بودن را به مفهوم بدون هیچ گرایشی در جهت بهتر کردن بدن در نظر بگیریم، آن وقت جهش کاملاً به واقع تصادفی است. هیچ‌کدام از آن سه نوع غیرتصادفی بودنی را که ملاحظه کردیم توانایی آن را ندارند که تکامل را در جهت پیشرفت‌های سازشی، در مقابل هر نوع جهت تصادفی دیگر (از نظر کارکردی)، پیش ببرند. یک تصادفی بودن نوع چهارمی نیز هست که این قضیه در آن صادق است ولی وضوح کمتری دارد. لازم است کمی برای شرح آن وقت صرف کنیم زیرا هنوز بعضی از زیست‌شناسان امروزی را گیج می‌کند.

کسانی هستند که «تصادفی» برای‌شان مفهوم زیر را دارد که از نظر من مفهوم نسبتاً عجیبی است. من از دو مخالف داروینیسم (پ. *ساندرز* و *ام. دبلیو. هو*) که نظرشان را درباره باور پیروان *داروین* از جهش تصادفی بیان کرده‌اند نقل قول می‌کنم: «برداشت نوداروینی‌ها از تنوع تصادفی آمیخته به این خطای بزرگ است که هر چیز قابل تصوری ممکن است». «هر تغییری ممکن فرض می‌شود و همه *به یک اندازه محتمل‌اند*» (تأکید از من است). گذشته از پذیرفتن چنین نظری، من نمی‌فهمم چطور می‌شود با چنین عقیده‌ای، حتی اگر *معنادار* باشد، مواجه شد! تمام تغییرها؟ برای این‌که دو یا سه چیز احتمال‌شان برابر باشد، لازم است آن دو سه چیز به شکل عینی قابل تعریف باشند. مثلاً ما می‌گوییم «احتمال آمدن شیر و خط برابر است» زیرا شیر و خط دو رویداد متمایز هستند. اما در مورد بدن یک جاندار «هر تغییر ممکن» رویداد مشخصی از این دست نیست. این دو رویداد احتمالی را در نظر بگیرید: «دُم گاو ۲ سانت درازتر شود» و «دُم گاو ۴ سانت درازتر شود». آیا این دو، رویدادهای جداگانه‌ای‌اند و بنابراین به یک اندازه محتمل‌اند؟ یا رویدادهای

یکسانی‌اند که فقط از نظر کمّی با هم تفاوت دارند؟

پیداست در تصویر مسخره‌ای که از داروینی‌ها ساخته شده، «تصادفی بودن» مفهومی، اگر نگوییم بی‌معنی، نامعقول و اغراق‌آمیز دارد. مدتی طول کشید تا من متوجه این تصویر مسخره شوم چون نسبتی با آن طرز فکر داروینی که من می‌شناسم ندارد. اما اکنون آن را فهمیده‌ام و سعی می‌کنم آن را توضیح دهم زیرا فکر می‌کنم به ما در درک چیزی که در پس بسیاری از ادعاهای مخالفت با داروینیسم نهفته است کمک کند.

تنوع و انتخاب با هم در کارند تا تکامل را به وجود بیاورند. پیرو *داروین* می‌گوید تنوع تصادفی است، تصادفی به این معنی که جهت آن همسو با پیشرفت نیست و بر اثر انتخاب است که گرایش به پیشرفت در تکامل پیدا می‌شود. می‌توانیم اصول تکامل را به صورت پیوستاری تجسم کنیم که در یک انتهای آن داروینیسم و در انتهای دیگر جهش‌باوری قرار داشته باشد. جهش‌باور افراطی فکر می‌کند انتخاب هیچ نقشی در تکامل ندارد. جهت جهش‌ها جهت تکامل را تعیین می‌کنند. برای مثال، بزرگ شدن مغز انسان را در نظر می‌آوریم که ظرف چند میلیون سال تکاملِ ما رخ داده است. پیرو *داروین* می‌گوید تنوعی را که جهش در معرض گزینش قرار داد هم شامل افرادی با مغزهای کوچک‌تر و هم افرادی با مغزهای بزرگ‌تر می‌شد. انتخاب، مغزهای بزرگ‌تر را برگزید. جهش‌باور می‌گوید در آن تنوع که جهش عرضه کرده بود، گرایش به نفع مغز بزرگ‌تر بود بعد از عرضه‌ی آن تنوع انتخابی در کار نبود (یا نیازی به انتخاب نبود)؛ مغز بزرگ‌تر شد زیرا جهت‌گیری تغییرات جهشی به نفع مغزهای بزرگ‌تر بود. مطلب را خلاصه کنیم: در تکامل، گرایشی به نفع مغزهای بزرگ‌تر وجود داشت؛ این گرایش می‌توانست تنها حاصل انتخاب (دیدگاه داروینی) یا فقط حاصل جهش (دیدگاه جهش‌باور) باشد؛ ما می‌توانیم این دو دیدگاه را دو سر پیوستاری در نظر بگیریم، تقریباً نوعی توازن بین این دو منشاء ممکن گرایش‌های تکاملی داشته باشیم. یک دیدگاه بینابینی می‌تواند این باشد که در جهش تا حدی

تمایل به سوی مغز بزرگ‌تر وجود داشت و انتخاب این گرایش را در آن جمعیتی که بقا یافت بیش‌تر کرد.

در این‌جا، آن کاریکاتور برای نشان دادن منظور داروینی از این‌که می‌گوید در تنوعی که جهش در معرض انتخاب قرار می‌دهد گرایشی وجود ندارد، به درد می‌خورد. برای من، به عنوان یک داروینی تمام عیار، تنها به این معنی است که جهش گرایش سامان‌مندی در جهت پیشرفت‌های سازشی ندارد. اما برای آن داروینی مبالغه‌گر کاریکاتوری یعنی همه‌ی تغییرات قابل تصور «به یک اندازه محتمل‌اند». صرف نظر از این‌که چنین باوری از نظر منطق غیرممکن است، تصور می‌شود آن داروینی کاریکاتوری بدن را مثل خمیرِ گِلِ شکل‌پذیری می‌داند که آماده است تا انتخاب آن را به هر شکلی که ترجیح می‌دهد درآورد. مهم است که تفاوت بین داروینی واقعی و داروینی کاریکاتوری را تشخیص دهیم. ما در قالب یک مثال خاص تفاوت بین طرز پرواز خفاش و فرشته‌ها را بررسی می‌کنیم.

معمولاً در تصویرهایی که از فرشته‌ها وجود دارد. دو بال از پشت‌شان بیرون آمده و دست‌های‌شان بدون پوششی از پَر است. از آن طرف، خفاش‌ها و همین‌طور پرنده‌ها و پترواکتیل‌ها دست جداگانه‌ای ندارند. بازوی اجدادی آن‌ها به دو بال تبدیل شده است که برای کارهای دیگر قابل استفاده نیست یا خیلی ناشیانه برای اهداف دیگر مثل دانه برداشتن به کار می‌رود. اکنون ما به گفتگویی بین یک داروینی واقعی و یک کاریکاتور مبالغه‌آمیز از یک داروینی گوش فرا می‌دهیم:

واقعی نمی‌دانم چرا بال خفاش مانند بال فرشته در نیامده است. خفاش می‌توانست دست‌های آزادتری داشته باشد. موش مدام از دستش برای برداشتن خوراکی و خُرد کردن آن استفاده می‌کند، در حالی‌که خفاش‌ها بدون دست روی زمین خیلی بی‌دست و پا به نظر می‌رسند. فکر می‌کنم شاید یک علتش این باشد که جهش هرگز آن تنوع لازم را فراهم نیاورده است. حتماً هیچ خفاشی نیای جهش‌یافته‌ای که بال از وسط پشتش جوانه زده باشد وجود نداشته است.

کاریکاتوری بی‌معنی است. انتخاب همه چیز است. اگر خفاش مثل فرشته بال ندارد معنی‌اش این است که انتخاب چنین بالی را برنگزیده است. حتماً خفاش‌های جهش‌یافته‌ای وجود داشته‌اند که جوانه‌های بال از پشت‌شان بیرون زده، ولی انتخاب به آن‌ها عنایتی نداشته است.

واقعی باشد، من کاملاً قبول دارم که ممکن است انتخاب به آن‌ها میدان نداده باشد که رشد کنند یک دلیل این بوده که وزن حیوان را زیاد می‌کردند و بار اضافی تجملی است که هیچ هواپیمایی از پس آن برنمی‌آید. اما آیا واقعاً اینطور فکر نمی‌کنید جهش همیشه باید تنوع لازم را ارائه کند، مهم نیست انتخاب کدام را ترجیح می‌دهد؟

کاریکاتوری یقیناً همین‌طور است. انتخاب همه چیز است. جهش تصادفی است.

واقعی بسیار خوب، جهش تصادفی است، اما فقط به این معنی که نمی‌تواند آینده را ببیند و تصمیم بگیرد چه چیزی برای آن جاندار خوب است. به این معنی نیست که کاملاً هر چیزی ممکن است. مثلاً چرا فکر نمی‌کنی جانداری مثل یک اژدها بتواند از سوراخ دماغش آتش بیرون بدهد؟ چنین چیزی برای گرفتن و پختن طعمه خوب نیست؟

کاریکاتوری کار ساده‌ای است. انتخاب همه چیز است. جانوران آتش بیرون نمی‌دهند چون این کار برای‌شان به صرفه نیست. انتخاب طبیعی جهش‌یافته‌هایی که آتش بیرون می‌دادند را از میان برداشت، شاید به این دلیل که درست کردن آتش از نظر انرژی خیلی هزینه‌بردار بود.

واقعی من نمی‌توانم باور کنم که اصلاً جهش‌یافته‌های آتش نفسی وجود داشته‌اند. و اگر بودند شاید در معرض این خطر جدی بودند که خود را بسوزانند.

کاریکاتوری بی‌معنی است. اگر تنها مشکل همین بود، انتخاب تکامل بینی‌هایی را ترجیح می‌داد که داخل‌شان پوششی از پنبه‌ی نسوز داشت.

واقعی برای من قابل باور کردن نیست که هیچ جهشی بتواند دماغی دارای پنبه‌ی نسوز بسازد. من همان‌قدر که نمی‌توانم باور کنم گاو جهش‌یافته‌ای بتواند بپرد روی ماه، باور نمی‌کنم که حیوان جهش‌یافته‌ای پنبه‌ی نسوز

تولید کند.

کاریکاتوری انتخاب هر گاو جهش‌یافته‌ای که به ماه می‌پریده را بلافاصله کنار گذاشته است. می‌دانید که در آن‌جا اکسیژن نیست.

واقعی در تعجب هستم چرا فرض نمی‌کنید گاوهای جهش‌یافته‌ای باشند که ژنتیکی لباس فضایی و ماسک اکسیژن داشته باشند.

کاریکاتوری خوب گفتی! آفرین، به نظرم درواقع برای گاو رفتن به ماه به صرفه نیست. و ما نباید هزینه انرژی بالایی را که ایجاد شتابِ لازم برای رسیدن به ماه می‌خواهد ندیده بگیریم.

واقعی حرف بیهوده‌ای است.

کاریکاتوری معلوم است که یک داروینی واقعی نیستی. چه هستی، یک‌جور جهش‌باور منافقِ جدایی‌طلب؟

واقعی اگر این‌طور فکر می‌کنی، لازم است یک جهش‌باور حقیقی را ببینی.

جهش‌باور آیا این بحث درون‌گروهی داروینیست‌هاست یا دیگران هم می‌توانند شرکت کنند؟ مشکل هر دوی شما این است که به انتخاب زیاد بها می‌دهید. وظیفه‌ی انتخاب فقط این است که بدشکلی و معلولی را کنار بگذارد. درواقع به چیزی تکامل نمی‌بخشد. برویم سراغ تکامل بال خفاش. در حقیقت چنین است که در جمعیتی از جاندارانی که روی زمین زندگی می‌کردند، جهش‌هایی باعث شد که انگشت‌ها دراز شده و پرده‌ای از پوست بین‌شان پیدا شود. با گذشت نسل‌ها، این جهش‌ها بیش‌تر و بیش‌تر تکرار شد تا سرانجام همه‌ی آن جمعیت بال درآورد. این موضوع ربطی به انتخاب ندارد. در ساختار درونی خفاش اجدادی این تمایل وجود داشت که بال پیدا کند

واقعی و کاریکاتوری با هم تصورات محض! برگرد به قرن پیش که جایت آن‌جاست.

امیدوارم وقتی بنا را بر این می‌گذارم که خواننده نه با جهش‌باور احساس نزدیکی کند و نه با آن داروینی کاریکاتوری گستاخی نکرده باشم. فکر می‌کنم خواننده با داروینی واقعی موافق است و البته من هم همین‌طور. آن کاریکاتوری درواقع وجود ندارد. متأسفانه بعضی‌ها فکر می‌کنند که وجود دارد و چون با او مخالف‌اند فکر می‌کنند باخود داروینیسم مخالف‌اند. در مکتبی از زیست‌شناسی چنین می‌گویند: مشکل داروینیسم در این است که موانعی را که جنین‌شناسی تحمیل می‌کند، ندیده می‌گیرد. پیروان *داروین* (در این‌جاست که کاریکاتوری وارد می‌شود) فکر می‌کنند اگر انتخاب نوعی تغییر تکاملی را ترجیح دهد، آن وقت گوناگونی جهشی لازم پدید می‌آید. تغییر ناشی از جهش در جهات مختلف به یک اندازه محتمل است: فقط انتخاب است که گرایش را تعیین می‌کند.

اما هر داروینی واقعی می‌داند که گرچه ممکن است هر ژنی روی هر کروموزومی در هر زمانی جهش کند، ولی فرایندهای جنین‌شناختی نتایج جهش را روی بدن به شدت محدود می‌کنند. اگر من در این موضوع تردیدی داشتم (که ندارم) همانندسازی بیومورف‌های کامپیوتری تردید مرا از بین می‌بُرد. برای بیرون زدن بال از وسط پشت نمی‌توان فقط یک جهش را در نظر گرفت. بال، یا هر چیز دیگر، فقط در صورتی پیدا می‌شود که فرایند رشد اجازه این کار را بدهد. هیچ چیز یک‌باره به صورت جادویی پیدا نمی‌شود. باید فرایند رشد جنینی آن را بسازد. فقط بعضی چیزها که عملاً از وضعیت موجود فرایندهای رشد مجوز دارند احتمال پیدا شدن‌شان هست. به آن شکلی که رویش دست‌ها صورت می‌گیرد، این امکان برای جهش فراهم است که طول انگشت‌ها را افزایش دهد و باعث شود پرده‌ای از پوست بین آن‌ها قرار گیرد. ولی رویش جنینی پشت به نظر نمی‌رسد طوری باشد که امکان جوانه زدن بال‌های فرشته‌ای را به آن بدهد. ژن‌ها می‌توانند آن‌قدر جهش کنند که صورتشان کبود شود اما هیچ پستانداری هرگز بال فرشته مانندی در نخواهد آورد مگر این‌که فرایندهای رویش جنینی پستانداران مستعد پذیرش این نوع تغییر باشد.

حالا که ما هنوز همه‌ی زیر و بم‌های رویش جنین را نمی‌دانیم، جای بحث بر سر این‌که فلان جهش خاص فرضی تا چه حد ممکن است وجود داشته یا نداشته باشد باز است. مثلاً، ممکن است معلوم شود که در رویش جنینی پستانداران چیزی نیست که مانع پیدایش بال فرشته‌ای شود و در این مورد حق با آن داروینی کاریکاتوری باشد که نظرش این بود که بال‌های فرشته‌ای جوانه زدند ولی انتخاب به آن‌ها امان نداد. یا شاید وقتی بیش‌تر درباره رویش جنین بدانیم خواهیم دید که جوانه زدن بال فرشته همیشه چیزی نشدنی است و بنابراین هرگز فرصت ترجیح آن توسط انتخاب پیدا نشده است. احتمال سومی نیز هست که ما برای تکمیل کار باید آن را هم ذکر کنیم و این است که رویش جنین هرگز این امکان را برای پیدا شدن بال فرشته‌ای فراهم نکرده و انتخاب هم آن را ترجیح نداده حتی اگر وجود می‌داشت. اما نکته‌ای که باید رویش تأکید کنیم این است که ما نباید موانعی را که جنین‌شناسی بر تکامل تحمیل می‌کند ندیده بگیریم. هر داروینی واقعی این موضوع را قبول دارد، گرچه بعضی‌ها این تصور را ایجاد می‌کنند که داروینی‌ها مخالف آن هستند. از قرار معلوم با سروصدای زیادی که درباره‌ی موانع رشد، به عنوان یک جریان ضد داروینی به راه انداخته‌اند باعث اشتباه گرفتن داروینیسم با آن تصویر مسخره داروینیسمی که من در بالا نشان دادم می‌شوند.

همه این‌ها با بحث بر سر منظور ما از «تصادفی» بودن جهش شروع شد. من آن سه جنبه‌ای را که جهش در آن تصادفی نیست برشمردم: بر اثر پرتو ایکس و غیره پیدا می‌شوند؛ میزان جهش برای ژن‌های مختلف فرق می‌کند؛ لزومی ندارد میزان جهش پیشرو با میزان جهش‌های پَسرو برابر باشد. حالا مورد چهارمی که در آن جهش تصادفی نیست را هم به این‌ها اضافه می‌کنیم. جهش تصادفی نیست به این مفهوم که فقط می‌تواند در فرایندهای موجود رشد جنین تغییراتی ایجاد کند. این‌طور نیست که بی‌مقدمه هر تغییر قابل تصوری را که انتخاب ممکن است ترجیح دهد، ظاهر کند. فرایندهای جنین‌شناختیِ موجود باعث محدود بودن تنوعی می‌شود که در

معرض انتخاب قرار می‌گیرد.

مورد پنجمی وجود دارد که احتمال جهش غیرتصادفی در آن هست. ما (فقط) یک نوع جهش را می‌توانیم تصور کنیم که به‌طور سامانمندی همسو با بهتر شدن سازگاری یک جاندار با محیط زندگی‌اش باشد. گرچه چنین جهشی را می‌توان تصور کرد ولی هنوز کسی آن‌قدر این موضوع را پی‌گیری نکرده است که بتواند راهِ پیدا شدن این گرایش را بیان کند. فقط در این مورد پنجم، مورد «جهش‌باور» است که داروینی واقعاً مُصرّ است جهش تصادفی است. این‌طور نیست که جهش به‌طور سامانمندی همسو با پیشرفت‌های سازنده باشد و هیچ ساز و کاری شناخته نشده (قضیه را ملایم‌تر کنیم) که بتواند جهش را در راستاهایی که در این معنی پنجم غیرتصادفی‌اند، هدایت کند. جهش از منظر امتیاز سازگاری تصادفی است ولی از مناظر دیگر غیرتصادفی است. انتخاب و فقط انتخاب است که تکامل را در جهاتی که از نظر امتیاز غیرتصادفی‌اند پیش می‌برد. درواقع این‌طور نیست که جهش‌باوری فقط اکنون نادرست باشد بلکه هرگز نمی‌توانست درست باشد. اصولاً نمی‌تواند پیشرفت‌های تکاملی را توضیح دهد. جهش‌باوری دوست لامارکیسم است نه یک رقیب مطرود داروینیسم؛ اصلاً رقیبی برای داروینیسم نیست.

در مورد دیگر مدعی رقابت با انتخاب داروینی نیز وضع چنین است، ادعایی تحت عنوان عجیب «رانش مولکولی» که *گابریل دوور* متخصص ژنتیک از کمبریج از آن جانبداری کرده است (این عنوان عجیب است زیرا همه چیز از مولکول ساخته شده و معلوم نیست چرا فقط فرایند فرضی *دوور* باید به نام «رانش مولکولی» مفتخر شود و نه دیگر فرایندهای تکاملی؛ مرا به یاد آشنایی می‌اندازد که مشکل نفخ معده داشت، و سعی می‌کرد با قوای ذهن مشکل را حل کند). همان‌طور که دیدیم، *موتوکیمورا* و دیگر پیروان نظریه‌ی بی‌طرفی تکامل ادعای نادرستی در مورد نظریه‌شان ندارند. آن‌ها این تصور نادرست را ندارند که حرکت تصادفی رقیب انتخاب طبیعی برای توضیح تکامل سازشی است. آن‌ها تشخیص می‌دهند که فقط

انتخاب طبیعی می‌تواند تکامل را در جهت سازش پیش ببرد. ادعای آن‌ها فقط این است که بیش‌تر تغییرات تکاملی (تغییرها از دید یک متخصص ژنتیک مولکولی) سازش نیست. ادعای دوور در مورد نظریه‌اش این‌طور فروتنانه نیست. گرچه با بزرگ‌منشی قبول می‌کند که ممکن است در انتخاب طبیعی هم حقیقتی نهفته باشد. ولی فکر می‌کند می‌تواند همه‌ی تکامل را بدون استفاده از انتخاب طبیعی توضیح دهد!

در سراسر این کتاب برای آن‌که چنین مواردی را بررسی کنیم اول به سراغ چشم رفته‌ایم ولی در واقع چشم نمونه‌ای است از مجموعه‌ای از اعضاء که پیچیده و خوش‌ساخت‌تر از آن هستند که به‌طور تصادفی پیدا شده باشند. من به تکرار گفته‌ام که فقط انتخاب طبیعی است که به جایی می‌رسد که بتواند برای چشم انسان و دیگر اعضایی که از نظر پیچیدگی و اوج تکامل هم ردیف چشم هستند توضیح قابل قبولی داشته باشد، خوشبختانه، دوور آشکارا خود را به این چالش انداخته و توضیح خود را در مورد تکامل چشم ارائه کرده است. او می‌گوید فرض کنید برای این‌که از هیچ، چشم ساخته شود تکامل باید هزار مرحله را پشت سر بگذارد. این یعنی یک توالی که شامل هزار تغییر ژنی لازم بوده تا یک تکه از پوست خالی به صورت چشم درآید. از نظر من این فرض برای شروع یک بحث قابل پذیرفتن است. بر حسب سرزمین بیومورف‌ها به این معنی است که حیوان با پوست خالی هزار گام ژنی از حیوان چشم‌دار فاصله دارد.

حالا چطور توجیه کنیم که درست آن ۱,۰۰۰ مرحله به درستی طی شده تا چشم، آن‌طور که ما می‌شناسیم پیدا شده باشد؟ توضیح انتخاب طبیعی را همه خوب می‌دانند. اگر آن را به ساده‌ترین صورتش تقلیل دهیم، جهش، در هر یک از آن یک هزار صورتش، موارد متنوعی را عرضه کرده است که یکی از آن‌ها ترجیح داده شده زیرا به بقا کمک کرده است. این یک هزار گام تکامل، معرف هزار نقطه متوالی انتخاب‌اند که در هر کدام بیش‌تر موارد موجود محکوم به فنا شده‌اند. پیچیدگی

سازشی چشم امروزی حاصل نهایی ۱,۰۰۰ انتخاب موفق ناآگاهانه در طول این مسیر بوده است. آن‌گونه، در دنیای تودرتوی مسیرهای موجود، مسیر خاصی را پی‌گرفته است. در این مسیر ۱,۰۰۰ نقطه انشعاب وجود داشته و در هر کدام، آن‌هایی بقا یافته‌اند که مسیری را که منجر به پیشرفت چشم شده برگزیده‌اند. دو طرف این مسیر پُر است از بدن‌های مرده‌ای که با انتخاب نادرست در هر یک از این ۱,۰۰۰ نقطه انشعاب متوالی محکوم به فنا شده‌اند. چشم به آن صورتی که ما می‌شناسیم محصول نهایی رشته‌ای شامل ۱,۰۰۰ «انتخاب» متوالی موفق است.

این بود (یک روش برای بیان) توضیح تکامل چشم در ۱,۰۰۰ مرحله به وسیله انتخاب طبیعی. حالا توضیح *دوور* را ببینیم. در کل استدلال او این است که مهم نیست آن دودمان کدام گزینه را در هر گام ترجیح دهد: در بازنگری به آن عضوِ پیدا شده مورد استفاده‌ای پیدا می‌شود. بر اساس نظر او، هر گامی که آن دودمان برمی‌داشت، یک قدم تصادفی بود. مثلاً، در گام نخست، یک جهش اتفاقی در آن گونه پخش می‌شد. از آن‌جا که آن صفتی که تازه پیدا شده بود نقشی تصادفی داشت، کمکی به بقای جانور نمی‌کرد. بنابراین آن گونه در دنیا دنبال جای جدید یا روش جدیدی برای زندگی می‌گشت که بتواند از این ویژگی جدید که به او تحمیل شده بود بهره‌ای ببرد. بعد از یافتن محیطی که مناسب آن بخش تصادفی بدنش بود مدتی آن‌جا زندگی می‌کرد تا جهش دیگری پیدا و در سراسر گونه پراکنده شود. باز آن جانور مجبور بود همه‌ی دنیا را زیر پا بگذارد و در پی یافتن جایی جدید یا روشی جدید برای زندگی باشد که با این بخش تصادفی جدید سازگاری داشته باشد. وقتی آن را می‌یافت مرحله دوم به پایان رسیده بود. آن وقت نوبت سومین جهش تصادفی بود که سراسر آن گونه پراکنده شود و همین‌طور تا گام هزارم، که در پایانش چشم به آن صورتی که ما می‌شناسیم شکل می‌گرفت. *دوور* می‌گوید چشم انسان به جای این‌که از نور مادون قرمز استفاده کند، به‌طور اتفاقی از چیزی که به آن نور مرئی می‌گوییم استفاده می‌کند. اما اگر این‌طور بود که فرایندهای تصادفی، چشم‌های حساس به نور

مادون قرمز را به ما تحمیل می‌کردند، ما بی‌شک، بیش‌ترین استفاده را از آن کـرده و روشی برای زندگی پیدا می‌کردیم که از آن مادون قرمز بیش‌ترین بهره را ببرد.

این نظر، در نگاه اول، تا حدی ما را مجذوب می‌کند ولی فقط در نگاه کوتاه اول چنین است. علت جاذبه‌اش هم این است که انتخاب طبیعی را به‌طور مرتب و قرینـه سر و ته کرده است. انتخـاب طـبیعی، در سـاده‌ترین صـورت خـود، فـرض را بـر ایـن می‌گذارد که محیـط بـه گـونه تحمیـل می‌شـود و آن گونه‌هـای ژنـی کـه بهـتر بـا محیـط سازگار شوند بقا خواهند یافت. محیط تحمیلی است و جانداران بـرای تطـبیق بـا آن تکامل می‌یابند. نظریه *دوور* این قضـیه را سـر و تـه کـرده اسـت. در آن طـبیعتِ گـونه است که توسط فراز و نشیب‌های جهش و دیگر نیروهـای درونـی ژن کـه او بـه آن‌هـا ارادت خاصی دارد خود را تحمیل می‌کند. آن‌گاه، گونه از مجموعه همـه محیط‌هـا، آن محیطی را که بهتر با طبع تحمیلی خودش سازگار باشد شناسایی می‌کند.

ولی جاذبه این تقارن درواقع ظاهری است. به محـض این‌کـه نظریـه پُـر طمطـراق *دوور* با آن حالت خیال‌پردازانه را بر حسب ارقام بررسی کنیم همه جلال و شـکوهش نمایان می‌شود. لُب مطلب این است که، در هر یک از آن هزار گام، مهم نیست گـونه کدام راه را در پیش گیرد. به هر چیـز جدیـدی کـه می‌رسـد از نظـر کـاربردی غیرقابـل پیش‌بینی است و گونه محیطی را که با آن سازگار باشد می‌یابد. موضـوع ایـن اسـت که گونه، محیط مناسب را پیدا کرده باشد، مهم نیست که بر سر دو راهی کدام شـاخه را انتخاب کـرده باشـد. حـالا بیاییـد ببینیم در ایـن صـورت چنـد محیـط را می‌تـوانیم ممکن فرض کنیم. ۱,۰۰۰ نقطه‌ی انشعاب وجود دارد. اگر هر نقطه‌ی انشعاب فقـط به دو شاخه تقسیم شود (به جای ۳ یا ۱۸ شاخه، یک فـرض بـا احتیـاط) کـل تعـداد محیط‌های ممکن که بر این اساس باید وجود داشته باشد تا نقشه‌ی *دوور* عمل شـود، برابر است با ۲ به توان ۱,۰۰۰ (اولین انشعاب دو راه بـاز می‌کنـد، بعـد هـر یـک از آن دو راه به دو شاخه تقسیم می‌شوند و می‌شود ۴ تا، بعد هر کدام از این‌ها دو شاخه شده می‌شوند هشت تا، بعد ۱۶ و ۳۲ و ۶۴ و ... همین‌طور تـا $۲^{۱۰۰۰}$). ایـن عـدد را

می‌توانیم به صورت عدد یک و ۳۰۱ صفر بعد از آن بنویسیم. عددی است که از تعداد کل اتم‌های موجود در تمام جهان بسیار بسیار بزرگ‌تر است.

رقیبی که *دوور* برای انتخاب طبیعی مطرح کرد اصلاً کارآمد نبود، نه فقط در یک میلیون سال بلکه در یک میلیون برابر طول عمر جهان، در یک میلیون جهان که هر کدام یک میلیون برابر این جهان عمر کنند هم ممکن نیست. توجه داشته باشید که اگر ما فرض اولیه *دوور* را که هزار گام بود برای ساخته شدن چشم تغییر دهیم، نتیجه از نظر محتوا تغییر چندانی نمی‌کند. اگر آن را به صد گام کاهش دهیم که شاید تخفیف زیادی باشد، باز به این نتیجه می‌رسیم که مجموعه محیط‌های قابل زیستِ ممکن که باید وجود داشته باشند تا از پس هر گام تصادفی که آن دودمان برمی‌دارد برآیند، بیش از میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون است. این عدد از عدد قبلی کوچک‌تر است، با این حال اکثریت غالب «محیط»های *دوور* که منتظرند تا بال پیدا شود هر کدام فقط باید از تنها کمتر از یک اتم ساخته شده باشند.

به‌جاست توضیح دهیم چرا نظریه انتخاب طبیعی را استدلال با اعداد بزرگ به این طریق از میدان به در نمی‌کند. در فصل ۳ ما همه جانداران واقعی و قابل تصور را در یک فضای فوق‌العاده بزرگ در نظر گرفتیم. در این‌جا کاری شبیه به آن اما ساده‌تر انجام می‌دهیم به این صورت که نقطه‌های انشعاب را به جای این‌که ۱۸ تایی باشد دو شاخه‌ای فرض می‌کنیم. بنابراین مجموعه‌ای از همه حیوانات ممکنی که می‌تواند در هزار گام تکاملی پیدا شده باشد را روی یک درخت فوق‌العاده بزرگ در نظر می‌گیریم، درختی که طوری شاخه در شاخه است که تعداد کل آخرین سرشاخه‌ها عدد یک با ۳۰۱ صفر است. تاریخچه هر تکامل واقعی را می‌توان به صورت یک مسیر پیموده‌ی خاص در این درخت فرضی نشان داد. از میان همه‌ی مسیرهای فرضی قابل تصور، فقط اقلیت کوچکی عملاً پیموده شده‌اند. ما می‌توانیم بیش‌تر آن دیگر مسیرهای این «درخت همه‌ی جانداران ممکن» را نفهته در ظلماتِ عدمِ وجود فرض کنیم. گاه و بی‌گاه در میان مسیرهای تیره و تار آن درخت، مسیرهای روشنی

دیده می‌شود. این‌ها همان مسیرهایی‌اند که تکامل واقعاً طی کرده است و گرچه این شاخه‌های روشن تعداشان کم نیست ولی اقلیت ناچیزی‌اند در برابر مجموعه‌ای که شامل همه‌ی مسیرهاست. انتخاب طبیعی فرایندی است که می‌تواند مسیرش را از میان «درخت همه‌ی جانداران ممکن» انتخاب کند و آن تعداد محدود مسیرهایی را که پیمودنشان مقدور است تشخیص دهد. انتخاب طبیعی را با استدلال اعداد بسیار بزرگ، مثل نظریه *دوور* نمی‌توان از میدان به در کرد زیرا ذاتی این نظریه است که مدام بیش‌تر شاخه‌های درخت را هرس کند. واقعاً انتخاب طبیعی این کار را انجام می‌دهد. گام‌به‌گام راهش را در میان درخت همه‌ی جانداران ممکن باز می‌کند، و از آن تقریباً بی‌نهایت شاخه‌های بی‌سرانجام اکثریت فاصله می‌گیرد – حیواناتی که چشم‌شان در پاشنه‌ی پاست و مانند آن‌ها – که نظریه *دوور* با آن عالم سر و ته شده‌ای که دارد باید با آن‌ها مواجه شود.

ما به همه‌ی نظریه‌هایی که ادعای رقابت با انتخاب طبیعی را داشته‌اند پرداختیم مگر به قدیمی‌ترین آن‌ها. این نظریه که زندگی آفریده شده، یا مغز طراح متفکری آگاهانه تکامل را طراحی کرده است. آشکار است به راحتی می‌توان آن یک (شاید دو) نظریه‌ای را که در سِفْر پیدایش آمده رد کرد. تقریباً هر کسی برای خود تصوری از راز آفرینش دارد. و داستان سِفر پیدایش افسانه‌ای است که تصادفاً توسط قبیله خاصی از شبانان خاور میانه بافته شده و جایگاهی پُر ارج‌تر از باور قبیله‌ای در آفریقای شرقی ندارد که جهان را خلق شده از مدفوع مورچه می‌داند.

در برخورد اول بین آن‌چه «خلقت آنی»[۱] و آن‌چه «تکامل هدایت‌شده»[۲] نامیده می‌شود تفاوت بارزی وجود دارد. دینوران امروزی، از هر مسلکی که باشند، اعتقاد به خلقت آنی را کنار گذاشته‌اند، زیرا شواهد وجود نوعی تکامل، غیرقابل انکار است. اما بسیاری از دینورانی که خود را تکامل‌گرا به‌شمار می‌آورند، از جمله آن

---

۱ Instantaneous creation

۲ Guided evolution

اسقف بیرمنگام که در فصل ۲ نقل قولی از او داشتیم، آفریننده را از درِ پشت راه می‌دهند: می‌گذارند او به نحوی نقش سرپرست جریان تکامل را در طول تاریخ داشته باشد؛ یا با نفوذی که در لحظات تعیین کننده در تاریخ تکامل (البته به‌ویژه تاریخ تکامل انسان) دارد یا با دخالت فراگیرتری در همه رویدادهای روز به روزی که در مجموع تغییرات تکاملی را می‌سازند.

ما نمی‌توانیم کذب این باروها را اثبات کنیم، مخصوصاً اگر فرض بر این باشد که آفریننده همواره هشیار است که حاصل مداخله‌اش دقیقاً شبیه همان چیزی باشد که ما توقع داریم از طریق انتخاب طبیعی پیدا شود. تنها چیزی که در مورد چنین باوری می‌توانیم بگوییم این است که اولاً سطحی‌اند و ثانیاً وجود آن چیزی را فرض می‌گیرند که ما می‌خواهیم توضیحش دهیم، مثلاً پیچیدگی سامانمند را. آن چیزی که از تکامل، چنین نظریه دقیق و شفافی ساخته این است که توضیح می‌دهد چگونه سادگی ابتدایی به پیچیدگی سامان‌یافته تبدیل می‌شود.

اگر بخواهیم معبودی را مسلم فرض کنیم که توانایی تنظیم همه پیچیدگی‌های هماهنگ جهان را چه به صورت آنی چه به صورت تکامل هدایت شده داشته باشد، در درجه‌ی اول لازم است خود او بی‌نهایت پیچیده باشد. آفرینش‌باور، چه یک آدم کم سواد باشد چه یک کشیش تحصیل‌کرده به راحتی بنا را بر این می‌گذارد که از قبل موجودی با دانایی و پیچیدگی فوق‌العاده زیاد وجود داشته است. اگر قرار باشد ما اجازه داشته باشیم، بدون ارائه توضیحی، وجود یک پیچیدگی سامانمند را مسلم فرض کنیم، بنابراین به همان صورت به راحتی می‌توانیم وجود حیات به آن صورتی که می‌شناسیم را نیز مسلم بدانیم! خلاصه این‌که آفرینش الهی به صورت آنی یا به شکل هدایت شده، در شمار نظریه‌های دیگری که در این فصل ملاحظه کردیم قرار می‌گیرد. همه این‌ها می‌توانند به ظاهر جایگزین‌هایی برای داروینیسم باشند ولی شایستگی‌شان را باید با توسل به شواهد سنجید. با بررسی دقیق آشکار می‌شود که هیچ‌کدام به هیچ وجه نمی‌توانند رقیبی برای داروینیسم به‌شمار آیند. نظریه تکامل با

انتخاب طبیعی انباشتی تنها نظریه‌ی شناخته شده‌ای برای ما است که کفایت توضیح پیچیدگی سامانمند را دارد. حتی اگر شواهد به نفع آن نباشد، نیز بهترین نظریه موجود است! درواقع شواهد به نفع آن است. ولی آن خود داستان دیگری است.

بیایید به حاصل کل داستان گوش فرا دهیم. وجود حیات از نظر آماری یک عدم احتمال در مقیاس فوق‌العاده بزرگ است. بنابراین توضیح حیات هر چه هست شانس نیست. توضیح صحیح وجود حیات باید نظریه نقیض شانس را در بر داشته باشد. اگر درست درک شود، نقیض شانس بقای ادامه‌دار است. اگر درست فهمیده نشود، بقای ادامه‌دار نقیض شانس نیست بلکه خود شانس است. پیوستاری، این دو نهایت را به هم وصل می‌کند. پیوستاری که از یک انتخاب تک مرحله‌ای شروع و به انتخاب انباشتی من ختم می‌شود. انتخاب تک مرحله‌ای صورت دیگری از شانس محض است. منظور من از درک نشدن بقای ادامه‌دار همین است. انتخاب انباشتیِ کُند و تدریجی تنها توضیح کارآمدی است که تاکنون برای وجود طرح‌های پیچیده‌ی زنده مطرح شده است.

مفهوم شانس بر تمام این کتاب حاکمیت دارد، در کنار موارد فوق‌العاده زیاد عدم احتمالی که در مقابل پیدایش خودبه‌خودی نظم و پیچیدگی طرح‌داری وجود دارد. ما برای رام کردن بخت و به زانو درآوردن آن راهی پیدا کرده‌ایم. شانس محض، شانس سرکش، شانس بی‌بروبرگرد یعنی یک ساخت خوش‌طرح با یک جهش از عالم ناوجود بپرد به عالم وجود. شانس محض یعنی ناگهان در چشم به هم‌زدنی در یک نسل، در جایی که هیچ چیز نیست، چشم پیدا شود، چشمی کاملاً خوش‌ساخت و کامل. چنین چیزی غیرممکن نیست ولی موارد عدم آن به‌قدری زیاد است که نوشتن صفرهایش تا آخر دنیا آدم را سر کار می‌گذارد. موارد عدم احتمال پیدایش خودبه‌خودی هر موجود زنده‌ی خوش‌ساخت کامل و بی‌عیب از جمله – نمی‌توانم از زیر بیان نتیجه در برم – آن معبود هم چنین است.

رام کردن شانس یعنی بسیار نامحتمل را به نامحتمل‌های کوچک‌تری که پشت سر هم قرار می‌گیرند، خُرد کنیم. مهم نیست که پیدا شدن x از y در یک مرحله تا چه اندازه نامحتمل باشد، همیشه می‌توان رشته‌ای از حالت‌های فوق‌العاده زیادی بین آن دو در نظر گرفت. هر قدر تغییری بزرگ‌مقیاس و نامحتمل باشد، تغییرات کوچک‌تر عدم احتمال کمتری دارند. و در صورتی که ما موارد مرحله به مرحله‌ی بینابینی را به اندازه کافی ریز درجه‌بندی کنیم، خواهیم توانست از هر چیز، چیز دیگری را مشتق کنیم، بدون این‌که گرفتار نامحتمل‌های نجومی شویم. ما فقط وقتی می‌توانیم این کار را بکنیم که برای تنظیم همه‌ی آن مراحل میانی فرصت کافی وجود داشته باشد. و همچنین در صورتی که برای هدایت هر گام در جهت مناسب راهکاری وجود داشته باشد، در غیر این صورت، توالی آن گام‌ها، پیمودن کورکورانه راهی بی‌پایان خواهد بود.

دیدگاه داروینی‌ها بر اساس این باور است که این هر دو شرط برآورده شده‌اند و آن انتخاب طبیعی تدریجی و کُند و انباشتی، توضیحِ نهایی علتِ وجود ماست. اگر صورت‌هایی از نظریه تکامل وجود داشته باشند که تدریج‌گرایی کُند و نقش اصلی انتخاب طبیعی را نفی کنند، ممکن است در بعضی موارد خاص صادق باشند. اما نمی‌توانند شامل همه‌ی حقیقت باشند زیرا قلب و اصل نظریه‌ی تکامل را، که به آن توان حل نامحتمل‌های نجومی و توضیح پدیده‌های شگفت‌آور معجزه‌آسا را می‌دهد، رد کرده‌اند.

کتاب‌شناسی

1. Alberts، B.، Bray، D.، Lewis، J.، Raff، M.، Roberts، K. & Watson، J. D. (1983) Molecular Biology of the Cell. New York: Garland.
2. Anderson، D. M. (1981) Role of interfacial water and water in thin films in the origin of life. In J. Billingham (ed.) Life in the Universe.

Cambridge، Mass: MIT Press.

3. Andersson، M. (1982) Female choice selects for extreme tail length in a widow bird. Nature، 299: 818-20.
4. Arnold، S. J. (1983) Sexual selection: the interface of theory and empiricism. In P. P. G. Bateson (ed.)، Mate Choice، pp. 67-107. Cambridge: Cambridge University Press.
5. Asimov، 1. (1957) Only a Trillion. London: Abelard-Schuman.
6. Asimov، I. (1980) Extraterrestrial Civilizations. London: Pan.
7. Asimov، I. (1981) In the Beginning. London: New English Library.

8. Atkins، P. W. (1981) The Creation. Oxford: W. H. Freeman.

9. Attenborough، D. (1980) Life on Earth. London: Reader «s Digest، Collins &. BBC.

10. Barker، E. (1985) Let there be light: scientiri «creationism in the twentieth century. In J. R. Durant (ed. | Darwinism and Divinity، pp. 189-204. Oxford: Basil Blackwell.

11. Bowler، P. J. (1984) Evolution: the history of an idea. Berkeley: University of California Press.

12. Bowles، K. L. (1977) Problem-Solving using Pascal. Berlin: SpringerVerlag.

13. Cairns-Smith، A. G. (1982) Genetic Takeover. Cambridge: Cambridge University Press.

14. Cairns-Smith، A. G. (1985) Seven Clues to the Origin of Life. Cambridge: Cambridge University Press.

15. Cavalli-Sforza، L. & Feldman، M. (I981) Cultural Transmission and Evolution. Princeton، N.].: Princeton University Press.

16. Cott، H. B. (1940) Adaptive Coloration in Animals. London: Methuen.

17. Crick، F. (1981) Life Itself. London: Macdonald.

18. Darwin، C. (1859) The Origin of Species. Reprinted. London: Penguin.

19. Dawkins، M. S. (1986) Unravelling Animal Behaviour. London: Longman.

20. Dawkins، R. (1976) The Selfish Gene. Oxford: Oxford

University Press.

21. Dawkins، R. (1982) The Extended Phenotype. Oxford: Oxford University Press.

22. Dawkins، R. (1982) Universal Darwinism. In D. S. Bendall (ed.) Evolution from Molecules to Men، pp. 403-25. Cambridge: Cambridge University Press.

23. Dawkins، R. & Krebs، J. R. (1979) Arms races between and within Species. Proceedings of the Royal Society of London، B، 205: 489-511.

24. Douglas، A. M. (1986) Tigers in Western Australia. New Scientist، 110 (1505): 44-7.

25. Dover، G. A. (1984) Improbable adaptations and Maynard Smith «s dilemma. Unpublished manuscript، and two public lectures، Oxford، 1984.

26. Dyson، F. (1985) Origins of Life. Cambridge: Cambridge University Press.

27. Bigen، M.، Gardiner، W.، Schuster، P.، & Winkler-Oswatitsch. (1981) The origin of genetic information. Scientific American، 244 (4): 88—118.» i

28. Eisner، T. (1982) Spray aiming in bombardier beetles: jet deflection by the Coander Effect. Science، 215: 83-5.

29. Eldredge، N. (1985) Time Frames: the rethinking of Darwinian evolution and the theory of punctuated equilibria. New York: Simon & Schuster (includes reprinting of original Eldredge & Gould paper).

30. Eldredge، N. (1985) Unfinished Synthesis: biological hierarchies and modern evolutionary thought. New York: Oxford University Press.

31. Fisher، R. A. (1930) The Genetical Theory of Natural Selection. Oxford: Clarendon Press. 2nd edn paperback. New York: Dover Publications.

32. Gillespie، N. C. (1979) Charles Darwin and the Problem of Creation. Chicago: University of Chicago Press.

33. Goldschmidt، R. B. (1945) Mimetic polymorphism، a controversial chapter of Darwinism. Quarterly Review of Biology، 20: 147—64 and 205-30.

34. Gould، S.}. (1980) The Panda «s Thumb. New York: W. W. Norton.

35. Gould، S. J. (1980) Is a new and general theory of evolution emerging? Paleobiology، 6: 119-30.

36. Gould، S. I. (1982) The meaning of punctuated equilibrium، and its role in validating a hierarchical approach to macroevolution. In R. Milkman (ed.) Perspectives on Evolution، pp. 83-104. Sunderland، Mass: Sinauer.

37. Gribbin، J. &. Cherfas،]. (1982) The Monkey Puzzle. London: Bodley Head.

38. Griffin، D. R. (1958) Listening in the Dark. New Haven: Yale University Press.

39. Hallam، A. (1973) A Revolution m the Earth Sciences. Oxford: Oxford University Press.

40. Hamilton، W. D. & Zuk، M. (1982) Heritable true fitness and bright birds: a role for parasites؟ Science، 218: 384—7.

41. Hitching، F. (1982) The Neck of the Giraffe، or Where Darwin Went Wrong. London: Pan.

42. Ho، M-W. & Saunders، P. (1984) Beyond Neo-Darwinism. London: Academic Press.

43. Hoyle، F. & Wickramasinghe، N. C. (1981) Evolution from Space. London: J. M. Dent.

44. Hull، D. L. (1973) Darwin and his Critics. Chicago: Chicago University Press.

45. (acob، F. (1982) The Possible and the Actual. New York: Pantheon.

46. yerison، H. J. (1985) Issues in brain evolution. In R. Dawkins &. M. Ridley

(eds) Oxford Surveys in Evolutionary Biology، 1: 102—34.

47. Kimura، M. (1982) The Neutral Theory of Molecular Evolution. Cambridge: Cambridge University Press.

48. Kitchen P. (1983) Abusing Science: the case against creationism. Milton Keynes: Open University Press.

49. Land، M. F. (1980) Optics and vision in invertebrates. In H. Autrum (ed.) Handbook of Sensory Physiology، pp. 471-592. Berlin: Springer.

50. Lande، R. (1980) Sexual dimorphism، sexual selection، and adaptation in polygenic characters. Evolution، 34: 292-305.

51. Lande، R. (1981) Models of speciation by sexual selection of polygenictraits. Proceedings of the National Academy of Sciences، 78: 3721-5.

52. Leigh، E. G. (1977) How does selection reconcile individual advantage with the good of the group؟ Proceedings of the National Academy of

Sciences، 74: 4542-6.

53. Lewontin، R. C. & Levins، R. (1976) The Problem of Lysenkoism. In H. &. S. Rose (eds) The Radicalization of Science. London: Macmillan.

54. Mackie،]. L. (1982) The Miracle of Theism. Oxford: Clarendon Press.

55. Margulis، L. (1981) Symbiosis in Cell Evolution. San Francisco: W. H. Freeman.

56. Maynard Smith، J. (1983) Current controversies in evolutionary biology. In M. Grene |ed.) Dimensions of Darwinism، pp. 273-86. Cambridge: Cambridge University Press.

57. Maynard Smith، J. (1986) The Problems of Biology. Oxford: Oxford University Press.

58. Maynard Smith، J. et al. (1985) Developmental constraints and evolution. Quarterly Review of Biology، 60: 265-87.

59. Mayr، E. (1963) Animal Species and Evolution. Cambridge، Mass; Harvard University Press.

60. Mayr، E. (1969) Principles of Systematic Zoology. New York:

McGraw-Hill.

61.. Mayr، E. (1982) The Growth of Biological Thought. Cambridge، Mass: Harvard University Press.

62. Monod، J. (1972) Chance and Necessity. London: Fontana.

63. Montefiore، H. (1985) The Probability of God. London: SCM Press.

64. Morrison، P.، Morrison، P.، Eames، C. & Eames، R. (1982) Powers of Ten. New York: Scientific American.

65. Nagel، T. (1974) What is it like to be a bat؟ Philosophical Review، reprinted in D. R. Hofstadter & D. C. Dennett (eds). The Mind «s I، pp. 391-403، Brighton: Harvester Press.

66. Nelkin، D. (1976) The science textbook controversies. Scientific American 234 (4): 33-9.

67. Nelson، G. & Platnick، N. I. (1984) Systematics and evolution، m M-W Ho & P. Saunders (eds). Beyond Neo-Darwinism. London: Academic Press.

68. O «Donald، P. (1983) Sexual selection by female choice. In P. P. G. Bateson (ed.) Mate Choice، pp. 53-66. Cambridge: Cambridge University Press.

69. Orgel، L. E. (1973) The Origins of Life. New York: Wiley.

70. Orgel، L. E. |197y] Selection in vitro. Proceedings of the Royal Society of London، B، 205: 435-^2.

71. Paley، W. (1828) Natural Theology، 2nd edn. Oxford: I. Vincent.

72. Penney، D.، Foulds، L. R. & Hendy، M. D. (1982) Testing the theory of evolution by comparing phylogenetic trees constructed from five different protein sequences. Nature، 297: 197—200.

73. Ridley، M. (1982) Coadaptation and the inadequacy of natural selection. British Journal for the History of Science، 15: 45-68.

74. Ridley، M. (1986) The Problems of Evolution. Oxford: Oxford University Press.

75. Ridley، M. (1986) Evolution and Classification: the reformation of cladism. London: Longman.

76. Ruse، M. (1982) Darwinism Defended. London: Addison-Wesley.

77. Sales، G. &. Pye، D. (1974) Ultrasonic Communication by Animals. London: Chapman &. Hall.

78. Simpson، G. G. (1980) Splendid Isolation. New Haven: Yale University Press.

79. Singer، P. (1976) Animal Liberation. London: Cape.

80. Smith، J. L. B. (1956) Old Fourlegs: the story of the Coelacanth. London: Longmans، Green.

81. Sneath، P. H. A. & Sokal، R. R. J1973) Numerical Taxonomy. San Francisco: W. H. Freeman.

82. Spiegelman، S. (1967) An in vitro analysis of a replicating molecule.

American Scientist، 55: 63-8.

83. Stebbins، G. L. (1982) Darwin to DNA، Molecules to Humanity. San Francisco: W. H. Freeman.

84. Thompson، S. P. (1910) Calculus Made Easy. London: Macmillan.

85. Trivers، R. L. (1985) Social Evolution. Menio Park: BenjaminCummings.

86. Turner،]. R. G. (1983)» The hypothesis that explains mimetic resemblance explains evolution «: the gradualist-saltationist schism. In M. Grene (ed.) Dimensions of Darwinism، pp. 129^9. Cambridge:

Cambridge University Press.

87. Van Valen، L. (1973| A new evolutionary law. Evolutionary Theory، 1: 1-30.

88. Watson،]. D. (1976) Molecular Biology of the Gene. Menio Park: Benjamin-Cummings.

89. Williams، G. C. (1966) Adaptation and Natural Selection. New Jersey: Princeton University Press.

90. Wilson، E. 0. (1971) The Insect Societies. Cambridge، Mass: Harvard University Press.

91. Wilson، E. 0. (1984) Biophilia. Cambridge، Mass: Harvard University Press

92. Young،]. Z. (1950) The Life of Vertebrates. Oxford: Clarendon Press.