سرآغاز تکامل جانوران

اثر: جفری س. لوینتون J. S. Levinton
ترجمهٔ: حمیدهٔ علمی غروی
از: ساینتیفیک امریکان نوامبر ۱۹۹۴

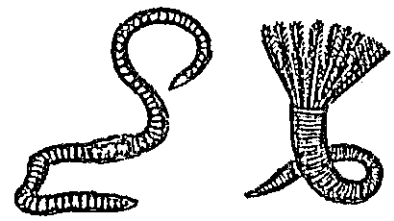
در حدود ۶۰۰ میلیون سال پیش در فرایند تکامل جانوران، دورهٔ آفرینندگی تند و بی‌مانندی پدید آمد. آیا مکانیسم تکامل چنان دگرگون شده که بروز هرگونه تغییر بنیادی طرحهای بدنی جانوران را متوقف داشته است؟

اتفاق‌نظر زیست‌شناسان بر این است که گروههای بسیار بزرگ جانوران، گیاهان و دیگر جاندارانی که امروزه بر زمین سکنی گزیده‌اند، همه از جانداران ساده‌ای که بیش از سه میلیارد سال پیش پدید آمدند، مستحول شده‌اند. قدیمی‌ترین فسیلها را جلبکهای ساده و دیگر جانداران تک سلولی تشکیل می‌دهند؛ جانوران و گیاهان پرسلولی دارای ساختار پیچیده‌تر، صدها میلیون سال بعد پدیدار شدند. به نظر می‌رسد که افزایش پیچیدگی جانداران، هرگز پیوسته و یکنواخت نبوده است. بیشتر پرسشهای چشمگیر تکامل نسبتاً با شتاب و به زودی پس از تحول نخستین جانداران پرسلولی که تقریباً ۶۰۰ میلیون سال پیش و در دورهٔ کامبرین بود، رخ دادند. درست همان طور که همهٔ اتوموبیلهای کنونی، که صورت تعدیل یافته‌ای از مرکبهای چهارچرخهٔ اولیه هستند، همهٔ تغییرات تکاملی مربوط به بعد از کامبرین هم تنها گوناگونیهایی بر زمینه‌های بنیادی به شمار می‌آیند.

همین گسستگی عجیب، موجب سردرگمی جدی زیست‌شناسان شده است. چرا طی صدها میلیون سال گذشته، دیگر طرح بدنی تازهٔ جانوری از «پاتیل» تکامل به بیرون نخزیده است؟ از چه رو طرحهای بدنی قدیمی این چنین پایدارند؟

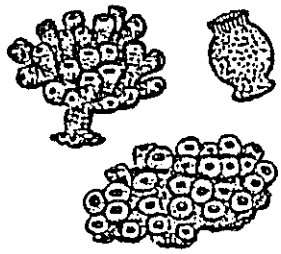
این طرحهای بدنی اصلی حتی برای طبیعیدان آماتور هم آشنا هستند. ساده‌ترین پرسلولیهای سلسلهٔ جانوری را کنیدارنیهای دارای تقارن شعاعی، مثل عروس دریایی و شقایق دریایی، تشکیل می‌دهند که بدنشان از دو لایه بافت ساخته شده است. کرمهای پهن که قدری از آنها پیچیده‌ترند، بدنی متشکل از سه لایه بافت اصلی دارند، تقارن آنها دو طرفی است و اندامهای حسی متمرکز بر یک انتهای بدن دارند. سلومانها، که تقریباً همهٔ جانوران

شکل ۱ــ *انفجار کامبرین* را ظهور ناگهانی و تقریباً همزمان اشکال بسیار گوناگون جانوران در حدود ۶۰۰ میلیون سال پیش مشخص می‌کند. هیچ دوره‌ای از تاریخ حیات جانوری با این انفجار چشمگیر در آفرینندگی تکاملی، همتا نبوده است. بیشتر جانداران کامبرین که در این شکل دیده می‌شوند، از روی فسیلها بازسازی شده‌اند.

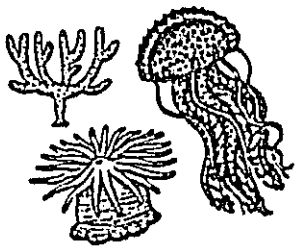


کرمهای حلقوی

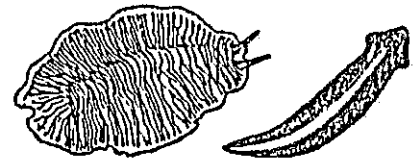
کرمهای لوله‌ای



اسفنجها

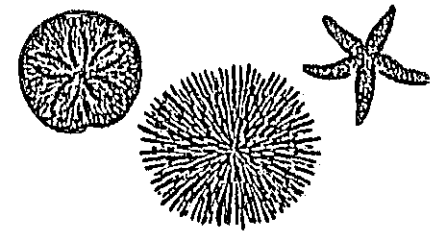


کنیداریا

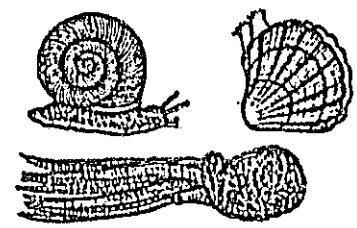


کرمهای پهن

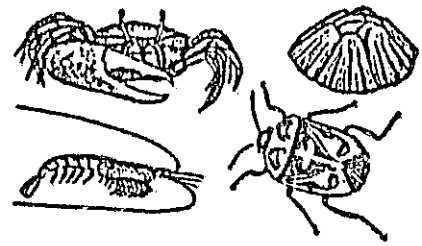
شکل ۲ ــ *طرحهای بدنی بی‌مانند* انگ شاخه‌های جانوری، یعنی بزرگترین گروه بندی تیره شناختی را تشکیل می‌دهند. همهٔ جانوران یک شاخه در نوآوریهای تکاملی معینی مشترکند؛ تقسیم بندی جانوران به گروههای تیره شناختی کوچکتر مثل گونه، بازتابی از وجود تنوع بر این طرحهای بدنی بنیادی است. همهٔ جانورانی که دارای بخشهای بدنی سخت هستند در دورهٔ کامبرین پدید آمدند.



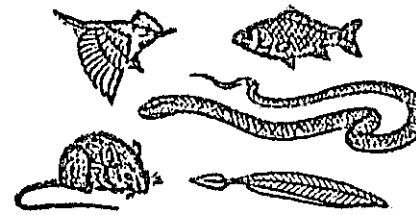
خارتنان



نرمتنان



بندپایان



مهره‌داران

دیگر را شامل می‌شوند، بدنی متشکل از سه لایه و حفره‌ای (به نام سِلوم) در میان لایهٔ سوم دارند. طرحهای بدنی مشخص کرمهای حلقوی[1]، خارتنان[2] (ستاره‌سانان، خیار دریایی و بقیهٔ جانوران دارای تقارن پنج طرفی)، بندپایان (حشرات، عنکبوتیان و سخت‌پوستان)، نرمتنان، مهره‌داران و بسیاری جانوران کم شناخته شدهٔ دیگری در گروه بزرگ سلوماتها قرار می‌گیرند.

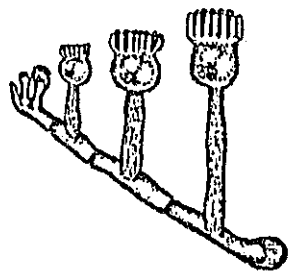
این تفاوتهای ساختاری مبنای سیستم مبتنی بر سلسله مراتبی هستند که زیست‌شناسان، کار رده‌بندی جانوران و گیاهان را با آن آغاز کردند. گروههای خارتنان، بندپایان، کرمهای حلقوی و گروههای دیگر هر یک شاخه‌ای جداگانه یا بخش عمده‌ای از سلسلهٔ جانوری را تشکیل می‌دهند. هر شاخه را بر اساس طرح بدنی متمایز اعضای آن تعیین می‌کنند. هر یک از شاخه‌ها را نیز به گروههای کوچکتر متوالی، یعنی رده، راسته، و به ترتیب تا ترازگونه، تقسیم می‌کنند.

چارلز داروین در سال ۱۸۵۹، علت وجود سلسله مراتب تیره شناختی را در طبیعت، توضیح داد. داروین دریافته بود که تکامل فرایندی است منشعب شونده و هر انشعابی در این سلسله مراتب، نمایندهٔ نقطه انشعاب دیگری است. و شاخه‌های جانداران از روی ویژگیهایی که قدیمیترین و مؤثرترین ترازهای رابطهٔ تکاملی را منعکس می‌کنند، از هم متمایز می‌شوند.

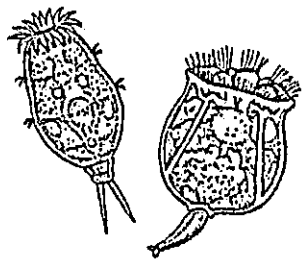
همهٔ شاخه‌های جانوری معروف که به آسانی فسیل می‌شوند، طی دورهٔ ۶۰ میلیون سالهٔ کامبرین پدید آمدند. زمان قطعی پیدایش این شاخه‌ها نسبت به ابتدا و انتهای این دوره به درستی معلوم نیست. اما با توجه به ۳/۵ میلیارد سال تاریخ زیست‌شناختی و مقایسهٔ آن با قریب ۵۷۰ میلیون سال که از آغاز دورهٔ کامبرین می‌گذرد، به نظر می‌رسد که این شاخه‌ها به طور ناگهان و همزمان پدید آمده باشند. از این رو است که بعضی از دیرین‌شناسان از «انفجار تنوع جانوری» کامبرین صحبت می‌کنند.

حتی وقتی که تراز تیره شناختی پایین‌تر از شاخه‌ها ــ یعنی رده ــ مورد توجه قرار می‌گیرد هم آشکار است که بیشتر نوآوریهای بنیادی پیش از این تراز رخ داده‌اند. ر. ک.

اکتوروکتا



انتوپروکتا



روتیفرا

بمباخ، از دانشگاه ایالتی ویرجینیا، نشان داده است که بعد از کامبرین پایانی از تعداد رده‌های جدیدی که پدید می‌آمدند، ناگهان کاسته شد. ظاهراً این مدارک وجود نوعی انشعاب تکاملی چشمگیری را در کامبرین آغازی، تأیید می‌کنند.

بعضی از جنبه‌های انفجار تنوع جانوری در کامبرین هنوز تا اندازه‌ای مورد تردیدند. فرض اینکه شواهد فسیلی می‌توانند زمان حقیقی پیدایش شاخه‌ها را آشکار سازند، بسیار جدل‌انگیز است. می‌توان پذیرفت که اجداد گروههای متمایز جانورانی که در کامبرین به دست آمدند صدها میلیون سال پیش، از یکدیگر منشعب شده بودند، اما چون فاقد صدف یا اسکلت بودند، هیچ گونه فسیلی از آنها بر جای نمانده است. اگر به راستی چنین است، در آن صورت گوناگون شدن جانوران کامبرین، برخلاف آنچه عموماً فرض می‌شود، انفجاری نبوده است.

پژوهشگران به شواهد متناقضی در این زمینه دست یافته‌اند. تنها فسیلهای جانور مانند معروف زمان پیش از کامبرین، متعلق به گروه عجیبی هستند که در سال ۱۹۴۷ به وسیله ر. سی. سپرگ زمین‌شناس دولتی در تپه‌های ادیاکارای استرالیای جنوبی کشف شدند. این فسیلها برای نخستین بار به وسیلهٔ محققی از دانشگاه آدلیدا توصیف شدند. (بعدها مشابه این فسیلها در نقاط دیگر هم یافت شدند.) اما به نظر می‌رسد که زیای ادیاکارا یک بُن‌بست تکاملی است؛ بدین معنی که به آسانی نمی‌توان آنها را به جانداران کنونی یا حتی به فسیلهای کامبرین، نسبت داد.

کوشش پژوهشگران در استفاده از ابزارهای زیست‌شناسی مولکولی برای یافتن پاسخ، فراگیر بوده است. زیست‌شناسان معتقدند که توالی نوکلئوتیدهای مولکول DNA و در نتیجه توالی امینواسیدهای پروتئینها، با سرعت تقریباً ثابتی جهش (موتاسیون) حاصل می‌کنند؛ بنابراین، می‌توان این توالیها را نوعی ساعت مولکولی به شمار آورد. ب. رنگار، از دانشگاه کالیفر در لوس‌آنجلس، به دنبال مقایسهٔ پروتئینهای گلوبین در جانوران کنونی، تخمین زد که احتمالاً جانوران پرسلولی به دودمانهایی تقسیم می‌شدند که بیشتر از ۹۰۰ میلیون سال پیش ــ خیلی زودتر از کامبرین ــ از شاخه‌های بزرگ جانوران پدید آمده بودند. از سوی دیگر، شواهد حاصل از تعیین توالی نوکلئوتیدهای ۱۸SRNA ریبوزومی (نوکلئیک اسیدی که در سنتز پروتئین نقش دارد) گونه‌های مختلف جانداران، گویای آنند که بسیاری از شاخه‌های جانوری تقریباً همزمان و احتمالاً در اواخر دوران پرکامبرین ظاهر شدند. زمان برخاستن شاخه‌های جانوری و ارتباط نسلی دقیق آنها، هنوز در ابهام است.

با همهٔ اینها، هنوز هم واقعیتها حکایت از پیدایش انفجاری جانداران پیچیده در نزدیک به آغاز دورهٔ کامبرین می‌کنند. تنها از طریق بررسی انتقادی شواهدی فسیلی است که می‌توان به میزان واقعی این انفجار پی برد. چشمگیرترین تجمع فسیلهای کامبرین در شیلهای بورگس* کلمبیای بریتانیا مشاهده می‌شود. نمونه‌های محفوظ مانده این فسیلها را برای اولین بار محققی از انستیتوی سمیتسونین[1]، در سال ۱۸۰۹، کشف کرد. اگر چه به گمان محقق نامبرده این فسیلهای عجیب از خویشاوندان گروههای کنونی هستند؛ اما امروزه بسیاری از دیرین شناسان معتقدند که هم شیلهای بورگس وهم دیگر ته‌نشستهای کامبرین، محتوی طرحهای بدنی بی‌مانندی هستند که زودتر از جانداران دیگر در کامبرین گسترش یافتند و بعدها منقرض شدند. س. ج. گولد از دانشگاه هاروارد، این اندیشه را در کتابی به نام «حیات عجیب» اشاعه داد.

یکی از نمونه‌های جالب این فسیلهای شیل بورگس، جانور خاردار عجیبی است که اندازهٔ آن به ۲/۵cm می‌رسد و آن را *ویواکسیا*[2]، نامیده‌اند. این جانور را سی. سی. موریس، دیرین‌شناس دانشگاه کمبریج با دقت توصیف کرده است. سیمون موقق شد *ویواکسیا* را چنان بازسازی کند وپژوهشگران بسیاری را متقاعد سازد که واقعاً این جانور متعلق به شاخهٔ بی‌مانندی است. اما، وقتی که ن. ج. باترفیلد، که دانشجوی دورهٔ عالی هاروارد بود، ویواکسیا را در سال ۱۹۹۰ مورد بررسی قرار داد، به نظرش آمد که این جانور یکی از خویشاوندان نوعی کرم[3] (کرمهای فلس‌دار) است که آن را موش دریایی می‌نامند. سرانجام، پس از قدری کاوش، مدارکی به دست آورد مبنی بر اینکه *ویواکسیا* در واقع جزء شاخهٔ کرمهای حلقوی است؛ *ویواکسیا* دارای قلابهای کیتینی مسطح است که از مشخصات زیر ردهٔ پرتاران[4] کرمهای حلقوی کنونی است.

داستان فسیل *ویواکسیا* یک دوره تسلسل کاملی را، از زمان اظهار نظر اولیه در بارهٔ

---

* ــ مراد گل رس سخت متورق (shale) شهر بورو (Borough) است ــ م.

همبستگی فسیلهای سیل بورگس با گروههای کنونی، ونتیجه‌گیری به ظاهر درست مبنی بر اینکه *ویواکسیا* جزء کرمهای حلقوی است، طی کرده است. از آن هم جالبتر این است که به تازگی تنی چند از زمین‌شناسان و دیرین‌شناسان نشان داده‌اند که این فسیل به احتمال قوی یکی از اعضای شاخهٔ اونیکوفورا[5] یعنی کرم مخملی[6] است.

دیگر آنکه، سالها بود به نظر می‌رسید که خارتنان کامبرین در میان رده‌های تیره شناختی بسیار دیگری پراکنده شده‌اند و هر کدامشان به ظاهراً ناگهان و بدون ارتباط آشکار با بقیه، پدید آمده است. اما تحلیلهای جدیدتر وجود نوعی درخت تکاملی را، به جای چمن تکاملی متشکل از چندین منشاء با اجداد مشترک نامعلوم، نشان می‌دهند (شکل ۴).

آنچه بیان شد حاکی از آن است که همهٔ استدلالهای تکاملی متکی بر رده‌بندی تیره شناختی، با مشکلی جدی دست به گریبانند. بعضی از فسیلها که وجود رده‌های بی‌مانندی را پیشنهاد می‌کنند، چیزی جز خرده‌های بی‌مقداری از دایرهٔ زمین شناختی بیش نیستند. برای اینکه دیرین‌شناسی ثابت کند که فسیل یافت شده واقعاً بی‌مانند است باید از ویژگی آن، بر اساس نداشتن نوعی خصوصیات مشترک میان گروههای دیگر دفاع کند. برای اینکه ثابت کند که نوعی فسیل به گروه شناخته شده‌ای تعلق دارد، باید بتواند صفات مشخصه‌ای که وابستگی آن فسیل را به آن گروه ثابش می‌کنند بیابد. هنگامی که فسیلهای ناقص جاندار ناشناخته‌ای برای نخستین بار یافت می‌شوند اغلب فاقد این گونه صفات هستند و از این رو است که برای دیرین‌شناس آسانتر است که آنها را گروههای جدیدی به شمار آورد. (دیرین‌شناس نیز مثل هر انسانی، از پیدا کردن چیزهای تازه لذت بیشتری می‌برد). گمان نگارنده این است که چون فسیلهای ناقص بسیار زیادند و بالقوه در معرض تفسیر مجدد قرار دارند. بنابراین، گولد و بعضی دیگر از دیرین‌شناسان در مورد گوناگون بودن جانوران دورهٔ کامبرین راه اغراق پیموده‌اند.

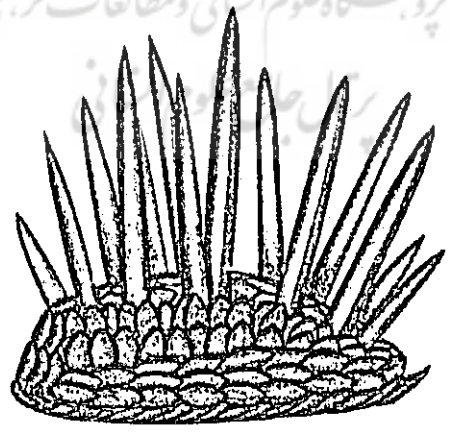
با همهٔ اینها، شک نیست که نوعی انفجار گوناگونی جانوری در دورهٔ کامبرین رخ داده بود. زیست‌شناسان تکاملی همواره تلاش می‌کنند تا بدانند چرا در جریان نیم میلیارد سال گذشته طرحهای بدنی جدید ظاهر نشده‌اند.

ج. و. والنتین، از دانشگاه کالیفرنیا در برکلی، معتقد است که آنچه سبب شده بود که در اوایل تاریخ حیات جانوران جدیدی پدید آیند وبا سرعت بیشتری متحول شوند، وجود «فضای باز» بیشتر، به صورت کُنجهای اکولوژیکی[7] اشغال نشده بود. نگارنده معتقد است که فراوانی فضای باز نمی‌تواند همهٔ داستان باشد. بنابر تخمین د. م. راپ از دانشگاه شیکاگو، هنگامی که بزرگترین انقراضهای گروهی در اواخر دورهٔ پرمین یعنی ۲۳۰ میلیون سال پیش، رخ دادند ۹۶ درصد گونه‌های دریازی آن زمان ناپدید شدند. با وجود این، برخلاف فرضیهٔ والنتین، مدرکی وجود ندارد که نشان دهد طرحهای بدنی واقعاً جدید و شاخه‌های بی‌مانندی، کُنجهای اکولوژیکی خالی را اشغال کرده باشند.

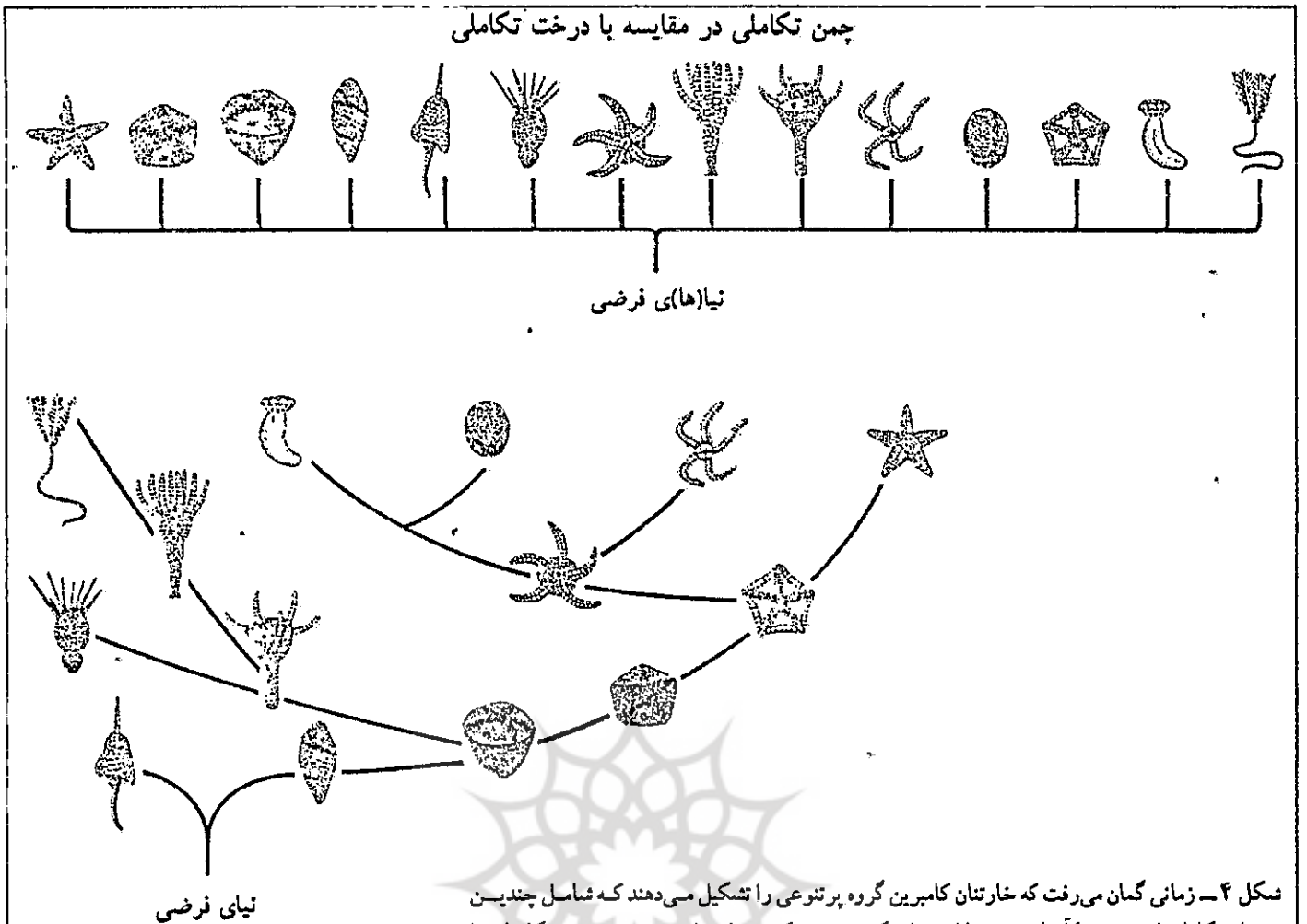
پذیرفتن اینکه در اشغال بودن همهٔ کنجهای اکولوژیکی بتواند سد راه نوآوریهای تکاملی شود نیز دشوار است. امروزه بسیاری از طرحهای بدنی متفاوت از منابع غذایی یکسان بهره می‌برند. بدین معنی که حلزون، کرم خاکی واعضای بسیاری از گونه‌های دیگر، از ذرات آلی موجود در گل و لای تغذیه می‌کنند. باید در جستجوی توضیح دیگری برای کمیاب شدن نوآوریهای زیست شناختی بعد از دورهٔ کامبرین بیابیم.

فرض قابل توجه دیگری که پیشنهاد شده این است که امروزه فرایند تکامل کندتر از زمانی انجام می‌گیرد که زمین جوان بود. اگر تکامل، بنا به علل غیر عادی ونامعلومی کند شده باشد بنابراین، شاید مدت زمانی که تاکنون گذشته است کمتر از آن باشد که برای پیدایش طرحهای بدنی جدید مورد نیاز است.

ده سال پیش پ. کلرکز[8] از دانشگاه لوئیزیانای جنوب غربی و نگارنده، بر آن شدیم که این فرضیه را از طریق بررسی تحمل پذیری بی‌مهرگان خلیج فوندری[9] رود هودسن در برابر فلزات آزمایش کنیم. خلیج فوندری،



شکل ۳ ــ *ویراکس* (سمت چپ) که نوعی فسیل خاردار کامبرین است، زمانی گمان می‌رفت که نمایندهٔ شاخه‌ای از جانوران است که امروزه آن را نمی‌شناسند. پژوهشهای اخیر معلوم داشته‌اند که در واقع این جانور به موش دریایی، یا آفرودیتا (Aphrodita)، (سمت راست) که جزء شاخهٔ کرمهای حلقوی است، منسوب است.



شکل ۴ ــ زمانی گمان می‌رفت که خارتنان کامبرین گروه پرتنوعی را تشکیل می‌دهند که شامل چندین دودمان تکاملی است و همهٔ آنها تند و جدا از هم از یک جد مشترک برخاسته‌اند و نوعی چمن تکاملی را نشان می‌دهند (شکل بالا). اما، پژوهش پردامنه‌تر آشکار ساخت که همان خارتنان فسیل را می‌توان به صورت درخت تکامل سنتی با اخلاف منشعب شده‌ای که تنوع بسیار کمتری دارند، نشان داد (شکل پایین).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

مثل خلیجهای دیگر آن جدود، مملو از جاندار است. نیم بالان سترایدر[10] در نزدیکیهای سطح آب می‌چرخند و نُنفهای حشرات دیگری[11] را می‌خورند. کرمهای حلقوی کم تار و لاروهای حشرات، بر گل و لای کف خلیج انبوه شده‌اند و خوراک ماهیها، خرچنگها و میگوها را فراهم می‌آورند. از این گذشته، خلیج فوندری از یک نظر منحصر به فرد است، بدین معنی که احتمالاً دارای بالاترین غلظت آلوده کننده‌های سمی کادمیوم ونیکل در دنیاست.

خلیج فوندری که از کوههای ستورم کینگ[12] و وست‌پوینت[13] در وسط رود هودسن گسترده است، تاریخچهٔ نظامی مورد توجهی دارد. در جریان جنگ استقلال یک کورهٔ آهنگری در آن نقطه نصب شد و زنجیرهایی می‌ساخت که آنها را در عرض رودخانهٔ هودسن پهن می‌کردند تا حرکت کشتیهای انگلیسی را متوقف کنند. در طول جنگ داخلی آمریکا، کارخانهٔ ذوب فلز در آن نقطه مهمات می‌ساخت. در حدود ۴۰ سال پیش یک درگیری نظامی کار ساختن آتشبارها را به کنار خلیج فوندری کشاند. در سال ۱۹۵۳ کارخانه‌های صنعتی شروع به تخلیهٔ متجاوز از ۱۰۰ تُن زبالهٔ نیکل ــ کادمیوم در این خلیج و رودخانه‌های اطراف آن کردند. این کار ادامه داشت تا اینکه در اواخر دههٔ ۱۹۷۰ به دنبال شکایت شهروندان محلی متوقف شد.

وقتی که کلرکز و نکارنده برای اولین بار در اوایل دههٔ ۱۹۸۰ خلیج فوندری را مورد مطالعه قرار دادیم متوجه شدیم که ۲۵ درصد ته‌نشستهای کف آن از کادمیوم تشکیل شده است. با وجود این، فراوانی بسیاری از گونه‌های بی‌مهرگانی که بر کف این خلیج می‌زیستند، از فراوانی آنهایی که بر گل و لای آلوده نشدهٔ نقاط دیگر زندگی می‌کردند، کمتر نبود. برای یافتن علت امر، تحمل‌پذیری نوعی

از کرمهای آبزی وابسته به کرم خاکی موسوم به *لیمنو دریلوس هفمایستری*[13]؛ یعنی شایعترین بی‌مهرگان کف خلیج فوندری را، در برابر کادمیوم مورد آزمایش قرار دادیم.

معلوم شد وقتی که کرمهای *لیمنودریلوس* ساکن خلیجهای دیگران آن حول و جوش را در ته‌نشستهای خلیج فوندری قرار می‌دهند می‌میرند یا علامتهای آشکاری از درماندگی در آنها مشاهده می‌شود؛ حال آنکه، کرمهای *لیمنودریلوس* محلی در آن ته‌نشستها زنده می‌مانند و تولیدمثل می‌کنند. کرمهای خلیج فوندری را در گِلی که آلوده نبود گذاشتیم که تولیدمثل کنند و سپس نوادگانشان را مورد بررسی قرار دادیم؛ معلوم شد که آنها نیز در برابر کادمیوم تحمل‌پذیرند. بنابراین به نظر می‌رسد که این تحمل‌پذیری تا حد زیادی ژنتیکی است.

طول مدت تکامل یافتن تحمل‌پذیری این کرمها در برابر کادمیوم بیشتر از ۳۰ سال نبود. در واقع، تنوع‌پذیری ژنتیکی جمعیتهای دور و بر این خلیج، همراه با مرگ و میر بالایی که اندازه‌گیری ما نشان می‌داد، گویای آن بودند که درجهٔ تحمل‌پذیری مورد مشاهده ما، ممکن است در ظرف فقط دو تا چهار نسل ــ یا چند سال ــ پدید آمده باشد. به منظور اثبات این نتیجه‌گیری، کرمهای نقاط غیرآلوده را در ته‌نشستهای محتوی کادمیوم زیاد قرار دادیم؛ سپس آنهایی را که زنده مانده بودند گذاشتیم که تولیدمثل کنند.

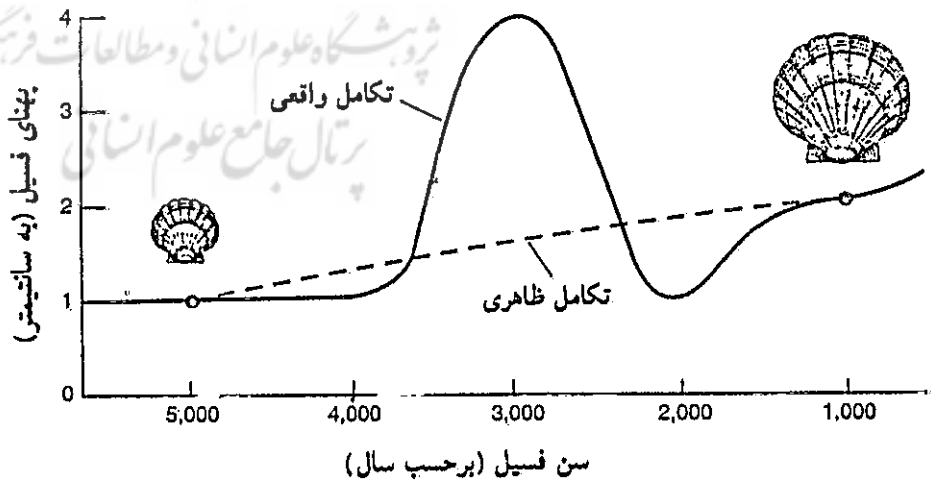
به تحقیق معلوم شد که نسل سوم آنها دارای دو سوم تحمل‌پذیری کرمهای خلیج فوندری در برابر کادمیوم شده بود.

این ظرفیت تغییر تکاملی سریع در پاسخ به مبارزه‌طلبی غیرعادی محیطی، شگفت‌انگیز بود. برای هیچ جمعیتی از کرمها ممکن نبود که در طبیعت با شرایطی همانند شرایطی که آدمی در خلیج فوندری ایجاد کرده است رو به رو شود، اگر چه بعضی از گونه‌های ساکن آبراههای اطراف خلیج فوندری از آن خلیج محو شده‌اند، اما بیشتر گونه‌ها با شرایط غیرعادی آن سازگاری حاصل کرده‌اند.

به نظر می‌رسد که تکامل سریع تحمل غلظتهای زیاد مواد زهرآگین عمومیت دارد. هر وقت که آفت‌کش تازه‌ای به کار گرفته می‌شد، معمولاً در ظرف چند سال دودمان مقاومی از آفتها پدید می‌آمد. هنگامی که از آنتی‌بیوتیکهای جدید استفاده می‌شود، جریان مشابهی برای باکتریها روی می‌دهد؛ یعنی مقاوم می‌شوند. خوشبختانه باکتریها نمی‌توانند این مقاومت را در خود حفظ کنند و هر وقت که مصرف آنتی‌بیوتیکها موقتاً قطع می‌شود، دودمان حساس بار دیگر غلبه پیدا می‌کند.

برای نشان دادن قدرت انتخاب طبیعی لازم نیست که از مواد زهرآگین کمک گرفت. جان ا. اِندلر[15] از دانشگاه کالیفرنیا در سنتاباربارا، از راه آزمایش با ماهی گوپی نشان داده است که چگونه صیادان این ماهی می‌توانند تکامل سریعی را در آن سوق دهند. ماده‌های ماهی گوپی علیای جویبارهای بدون صیاد ترینیدادیان[16]، غالباً نرهایی را که دمی بزرگ با رنگهای درخشان دارند انتخاب می‌کنند، امکان دارد که چون این ویژگیها بازتابی از تندرستی ماهی باشند. ولی در نقاطی که ماهیان صیاد فراوان هستند، داشتن رنگهای درخشان و جالب خطرناکند. اِندلر به وسیلهٔ پرورش دادن ماهیان گوپی در حوضهای دارای صیاد و بدون صیاد، تأثیر وجود صیاد را مورد آزمایش قرار داد. در ظرف چند سال شمارهٔ ماهیان دارای دم رنگین در حوضهای محتوی صیاد زیاد بسیار کمیاب شد. اما در حوضهای بدون صیاد این نرها فراوان شدند (شکل ۷).

دو محقق دیگر دانشگاه کالیفرنیا در ریورساید که با اندلر کار می‌کردند، نشان دادند که انتخاب طبیعی حتی می‌تواند برنامهٔ تولیدمثل جاندار را هم ظرف مدت کوتاهی تغییر دهد. هنگامی که این پژوهشگران ماهیهای گوپی را در جویبار بدون صیاد جای دادند، دیدند که تولیدمثلشان را در سن بالاتری انجام می‌دهند و مقداری از منابع غذایی خود را به جای آنکه به مصرف تولیدمثل برسانند صرف رشد بدنشان می‌کردند. وقتی که ماهیان صیاد در اطرافشان باشند، انتخاب طبیعی به سود گوپیهایی عمل می‌کرد که زودتر ــ پیش از آنکه صید شوند ــ تولیدمثل می‌کردند و برنامهٔ تولیدمثل خود را به چندین فصل



شکل ۵ ــ *سرعتهای ظاهری تکامل* نسبت به مقیاس زمانی که برمبنای آن سنجیده می‌شوند حساسند و بر پایهٔ این حساسیت می‌توان توضیح داد که چرا تغییرات تکاملی مندرج در مدارک فسیلی کند به نظر می‌رسند. در این مثال فرضی، سرعت تکاملی پهنای فسیل (خط مقطع) کند به نظر می‌رسد زیرا دوره‌هایی که در آنها تغییر صورت نگرفته و دوره‌های نوسان تند، درهم ادغام شده‌اند.

گسترش می‌دادند.

ساختارهای بدنی نیز ممکن است به سرعت تکامل یابند، به خصوص وقتی که شکل‌گیری جزایر یا دریاچه‌های جدیدی فضای اکولوژیکی نو و آماده اشغال شدن بیافریند. سهره‌های داروین؛ با چند گونهٔ پرندهٔ به هم منسوب ساکن جزایر گالاپاگوس، احتمالاً در ظرف پنج میلیون سال، یا کمتر، از یک گونهٔ اجدادی مشتق شده‌اند. گونه‌های جدید با منقارهای متفاوت، که هر کدام ویژهٔ نوعی خوراک است پدید آمدند و خلأ اکولوژیکی را پر کردند.

ب. ر. گرانت از دانشگاه پرنستون، اخیراً با همکارانش، موفق به مشاهده سرعت تأثیر انتخاب طبیعی بر سهره‌های داروین شدند. خشکسالی شدیدی تقریباً همهٔ گیاهان منطقه را، به جز آنهایی که دانه‌های درشت و مقاوم در برابر کم‌آبی داشتند، از میان برد. از آنجا که سهره‌ها عمدتاً دانه‌خوارند، میزان مرگ و میرشان بالا بود. این شرایط در جهت افزایش منقارهای با اندازهٔ متوسط عمل می‌کردند، زیرا پرندگان با منقار بزرگتر می‌توانستند دانه‌های درشتتر را بشکافند. به طوری که گرانت مشاهده کرد، نوسانهای شرایط کم‌آبی و مرطوب، مسبب دوره‌های متوالی تحول، اغلب در ظرف چند ماه می‌شدند**.

این گونه مطالعه‌ها که از جمعیتهای جانداران به عمل می‌آیند، نیرومندی و سرعت تکامل را گواهی می‌دهند. یکی از پژوهشگران دانشگاه شیکاگو، برنامهٔ بررسی فسیلها را سرپرستی کرده است که مدارک بیشتری را در این زمینه فراهم می‌آورد. این پژوهشگر موفق شد کار خطیر تلخیص مدارک فسیلی و فهرست کردن تنوع گروههای جاندار فسیل شده با گذشت زمان را، انجام دهد. برآورد وی از ترازهای تیره‌شناختی پایین، مثل جنس[17]، احتمالاً شاخص ارزنده‌ای از تعداد گونه‌ها در دوره‌های مختلف عمر زمین را ارائه می‌دهد. وی نتیجه می‌گیرد که تاریخ حیات شامل دوره‌هایی بوده است که در طول آنها تعداد کل گونه‌ها ظاهراً ثابت بود و طی مدتی از پالئوزوئیک پایانی، این تعداد کاهش عظیم و ناگهانی حاصل کرد. اما به طور کلی، به نظر می‌رسد که در مدت ۶۰ میلیون سال گذشته تعداد کل گونه‌ها افزایش مداوم داشته است. شک نیست که جانوران را نوعی ناتوانی در تولید گونه‌های نو (گونه‌زایی[18]) از ایجاد اشکال بنیادی جدید منع نمی‌کند.

بنابراین، همهٔ شواهد حاصل از مطالعهٔ گروههای جانداران کنونی گویای آنند که تکامل معاصر، با سرعتی همانند سرعت آن در زمانهای دیگر، پیش می‌رود. با وجود این، اگر از دیدگاه شواهد فسیلی به تغییرات تکاملی نگریسته شود، آهنگ این تغییرات به طرز شگفت‌آوری کند به نظر می‌رسد.

یکی از گنجینه‌های فسیلی متعدد موجود در صخره‌های سواحل خلیج چساپیک[19] در مریلند، بستر صدفهای دوکفه‌ای میوسن است که چساپکتن[20] ــ مشتق از نام خلیج چساپیک ــ نامیده می‌شوند. دوکفه‌ایها چساپکتن نخستین فسیلهای امریکای شمالی بودند که در سال ۱۶۸۷ توصیف شدند. ابتدایی‌ترین اعضای این گروه در میوسن میانی، یعنی ۱۴ میلیون سال پیش می‌زیستند؛ دوکفه‌ایهای چساپکتن در حدود سه میلیون سال است که منقرض شده‌اند. زنجیرهٔ اجداد و اخلاف آنها، به صورت تقریباً قطع نشده‌ای در لایه‌ها مشاهده می‌شود. ج. میازاکی[21] از دانشگاه ایالتی نیویورک، نوعی شکوفایی تکاملی را در این بسترهای فسیلی ردیابی کرده است که هم بسیار جالب توجه و هم فوق‌العاده کند بود.

صدف افراد جوان گونه‌های دوکفه‌ای چساپکتن کنونی معمولاً شکل مثلثی دارد و به وسیلهٔ شکاف کوچکی عمیقی مشخص است؛ «خوشه‌ای» از اجسام بخ مانندی از آن شکاف خارج می‌شود و جانور را بر کف زیستگاهش می‌چسباند. وقتی که دوکفه‌ای به کمال رشد می‌رسد حدود صدف آن شکل مدور به خود می‌گیرد و خوشهٔ تارهای متصل‌کنندهٔ آن به تکیه‌گاه نسبتاً کوچکتر می‌شود. شکل صدف چساپکتن بالغ، در طول بیشترین بخش تاریخ ۱۱ میلیون ساله‌اش از همین مسیر تکاملی گذشته بود؛ یعنی بتدریج از ریخت دوکفه‌ایهای جوان کنونی به ریخت دوکفه‌ایهای بالغ کنونی متحول شده است. استدلال نظری میازاکی این است که دریای قدیمی زیستگاه چساپکتن رفته رفته عمیق‌تر می‌شد و در نتیجه وضعیت برای دوکفه‌ایهایی که مدت بیشتری را به حالت آزاد شنا می‌کردند مناسبتر شده بود، تا برای آنهایی که بر کف زیستگاه می‌چسبیدند. فرایند تکامل دوکفه‌ایهای چساپکتن، به هر علتی که باشد، بسیار کُند بود.

تغییرات تکاملی مشابه نرمتنان کنونی می‌تواند بسیار سریعتر انجام شود. تغییر یافتن *داگ ولک*[22] (نوعی حلزون دریایی) و *پریونکل*[23] (نوعی صدف خوراکی) از آن جمله است. وقتی که خرچنگ ساحلی اروپایی، احتمالاً در اوایل قرن حاضر، به طور تصادفی وارد آب خلیجهای ایالت مین[24] شد، این نرمتنان به صورت صید آن در آمدند. در ظرف فقط چند ده سال داگ ولک و پریونکل صاحب صدفهای ضخیم‌تر و نیرومندتری شدند که بهتر می‌توانستند در برابر حملهٔ خرچنگ مقاومت کنند.

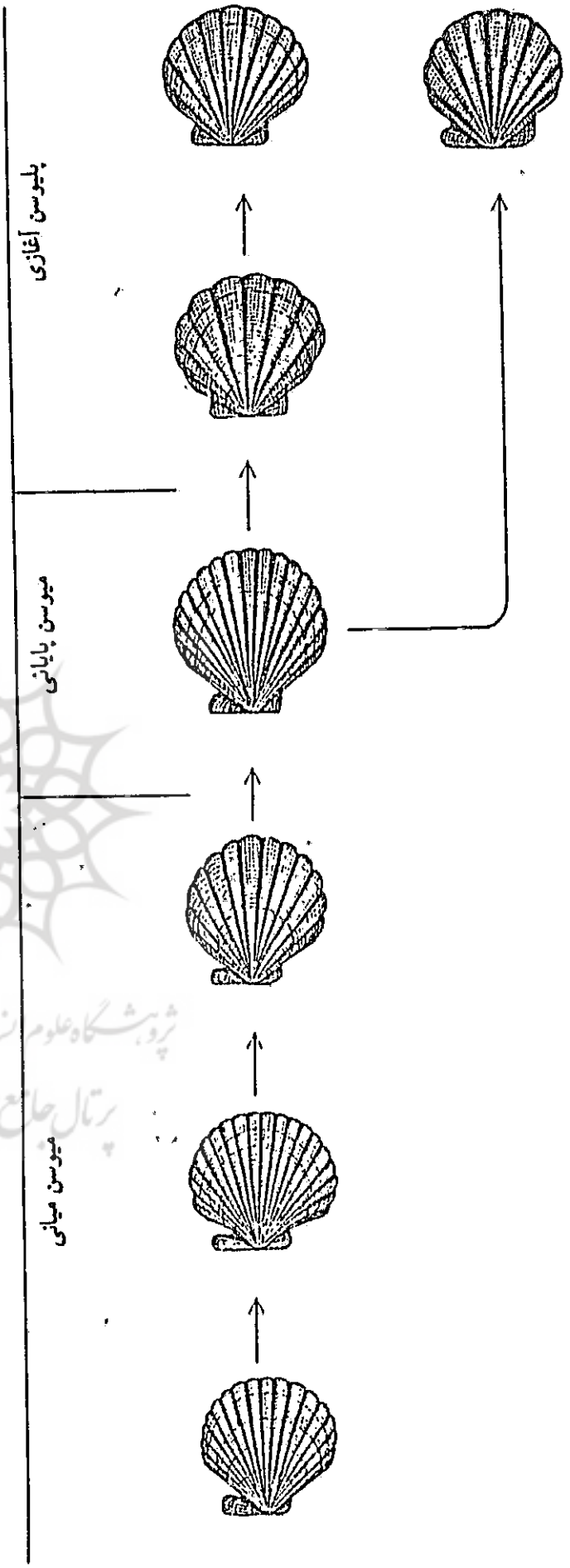
جی. جی سیمپسون متوفی، از موزهٔ تاریخ طبیعی آمریکا یا بزرگترین دیرین‌شناس قرن بیستم، هنگامی که پستانداران فسیل را مطالعه کرد، متوجه کُندی مشابهی در تکامل آنها شد. اپوسومهای کنونی اندک تفاوتی با اجداد خود که ۶۵ میلیون سال پیش در دورهٔ کرتاسه می‌زیستند، دارند. سیمپسون پس از استنباط کندی آهنگ تکامل اپوسوم، استدلال کرده بود که تکامل پستانداران از اجداد خزندهٔ خود

** ــ بدیهی است که کوتاه بودن عمر نسل (generation time) جاندار نیز در سرعت متحول‌شدن آن تأثیر به سزادارد. ــ م.

«نمی‌توانست در مدت زمانی کمتر از ۶۰۰ میلیون سال صورت گرفته باشد... که بدون تردید قابل توجیه نیست.»

ج. ب. س. هالدن، دانشمند برجستهٔ علم تکامل، احتمالاً این مسئله را با وضوح بیسابقه‌ای بیان داشته است. وی مطالعهٔ سیمپسون را دربارهٔ اسبهای فسیل مورد دقت قرار داد و متوجه شد که بلندی تاج دندان آنها با کندی بسیار، در حدود ۳/۶ درصد به ازای یک میلیون سال، افزایش یافته است. هالدن نتیجه می‌گیرد که تکامل دندانهای اسب چنان کُند بود که به آسانی نمی‌توان تأثیر انتخاب طبیعی را از فرایند تصادفی «رانش ژن»[۲۵] تمیز داد. به نظر نگارنده این نتیجه‌گیری هالدن یک تناقض است. بدین معنی که اگر پیشرفت تکامل در مدارک فسیلی تا بدین حد کُند است بنابراین، چگونه ممکن است که تکامل جمعیتهای کنونی این چنین تند باشد؟

هنگامی که به یاد می‌آوریم که دیرین‌شناسان در بیشتر موارد سرعت تغییرات تکاملی را بر مبنای صدها هزار، یا صد میلیون سال محاسبه می‌کنند، این تناقض تا اندازه‌ای حل می‌شود. این مقیاس زمانی می‌تواند سرعتهای قابل تشخیص تغییر را «غیرواقعی»[۲۶] جلوه دهد. فرض کنید که سطح آب ساحل معینی را در دو سال متوالی در روز اول دیماه، اندازه بگیرید. حتی اگر در یک سال این اندازه‌گیری را موقع جزر انجام دهید و سال دیگر به هنگام مد، باز هم سرعت اندازه‌گیری شدهٔ تغییر اندک ــ مثلاً یک متر در سال ــ خواهد بود. از سوی دیگر، اگر اندازه‌گیری را تقریباً در هر شش



شکل ۶ ــ *نسیلهای جسا پکتن* گرایش پایداری در تغییرات تکاملی نشان می‌دهند که بیش از ۱۰ میلیون سال تداوم داشت. ریخت صدف این دو کفه‌ایها رفته رفته مدورتر و شکاف کوچکی که نقطهٔ اتصال آنها را به تکیه‌گاهشان مشخص می‌کند کوچکتر شده است. این تغییرات هم ارز تغییرات مشابهی هستند که به هنگام تبدیل دو کفه‌ایهای جوان به بالغ، رخ می‌دهند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ساعت یکبار انجام دهید، سرعت تغییر بسیار زیادتر ــ یعنی یک متر در هر شش ساعت، یا ۱۴۶۰ متر در سال.

اگر سرعت تغییر و جهت آن یکنواخت و ثابت نباشند، مقیاس زمانی اندازه‌گیری مهم خواهد بود. آن دسته از تغییرات تکاملی که بر مبنای زمان زمین‌شناختی اندازه‌گیری می‌شوند ممکن است به طور غیر عادی کند به نظر آیند، زیرا زمانهای طولانی شامل دوره‌های فقدان تغییر، دوره‌های تغییرات سریع به اضافهٔ معکوس شدنهای مکرر تغییر می‌شوند.

بنابراین، هنگامی که ب. م. سادلر، زمین‌شناس دانشگاه کالیفرنیا در ریورساید، سرعت ته‌نشینی رسوبات دریایی دوره‌های مختلف را در مدارک زمین‌شناختی اندازه می‌گرفت متوجه شد که اگر انباشته شدن رسوبات در فواصل زمانی طولانیتری اندازه‌گیری شود آهنگ آن کندتر به نظر می‌رسد. ف. د. گینگریچ[۲۷] دیرین‌شناس دانشگاه میشیگان، رابطهٔ معکوس مشابهی را میان مقیاسهای زمانی و سرعت ظاهری تکامل به دست آورد. وقتی که به جستجوی تغییرات گونه‌های فسیل و گونه‌های کنونی پرداخت متوجه شد که در فواصل زمانی کوتاه سرعت تغییر بسیار بالا بود و در فواصل زمانهای طولانیتر این سرعت به نظر کُند می‌رسید.

نگارنده و بسیاری دیگر از دیرین‌شناسان و زیست‌شناسان تکاملی، عقیده دارند که دوره‌های تغییرات تکاملی تند و چشمگیر با معکوس شدن تغییر و با دوره‌های طولانی تغییرات مختصر، متناوب هستند. دوره‌های تغییر تند، گرایش به گم شدن در لابه‌لای ترکهای مقیاس زمانی دیرین شناسان دارند. مثلاً، م. لینچ[۲۸]، زیست‌شناس تکاملی دانشگاه اورگون، اخیراً نشان داده است که تکامل ظاهراً کُند پستانداران، احتمالاً نتیجهٔ انتخاب طبیعی شکلهای حد واسط پایداری است که فسیلهای مربوط به میلیونها سال آنها مورد بررسی بوده‌اند.

مختصر آنکه، دلیلی برای اعتقاد به این که آهنگ تکامل تندتر یا کندتر از آنچه اکنون هست بوده باشد وجود ندارد. ولی با این نتیجه‌گیری، تناقضی که از سوی انفجار تنوع جانوری در کامبرین و تداوم اسرارآمیز بعضی از طرحهای بدنی، مطرح می‌شود، بی‌جواب می‌ماند. به نظر نگارنده، دست کم بخشی از جواب مسئله می‌تواند به تکامل تعهدُ جاندار نسبت به نوعی برنامهٔ رشد بستگی داشته باشد.

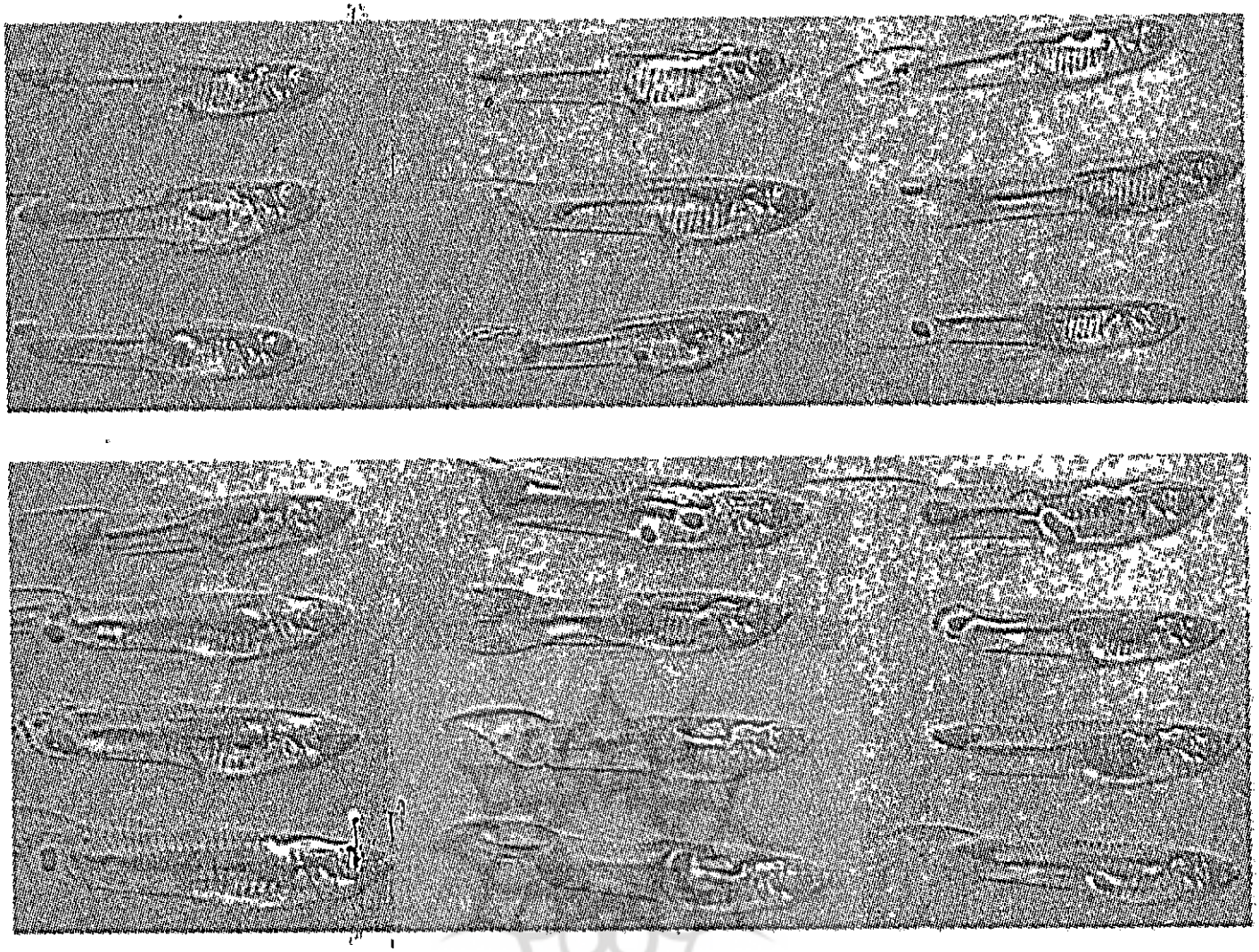
گاه ممکن است که ویژگیهای لازم برای تعریف نقشهٔ بدنی گروه جانور بخصوصی نامشخص باشند، یا حتی در اجداد آن گروه به صورت دیگری وجود داشتند. ث. ر. ث. پاول از دانشگاه لیورپول و آ. ب. سمیت از موزهٔ تاریخ طبیعی لندن، نشان داده‌اند که ستاره دریایی شکل نهایی خود را ناگهان و یکباره، که هیچ تغییری هم نکرده باشد، از غبارهای کامبرین، دارا نشده است. به عکس، ریخت‌شناسی شناخته شدهٔ ستاره دریایی، در طول دورهٔ کامبرین، و با گذشت میلیونها سال تبلور یافت. حتی تقارن پنج طرفی خارتنان کنونی هم به طور انعطاف‌ناپذیری در آغاز پیدایش آن گروه پایه‌ریزی نشده بود؛ بلکه پیش درآمد این تقارن در اجداد آنها به صورت تقارن سه تایی مشاهده می‌شد. فرایند انتخاب طبیعی شکل کلی ردهٔ خارتنان را از صدفها و از بخشهای نرم بدنشان جرح و تعدیل کرده است.

خلاصه آنکه، امروزه مدارک موجود گویای آنند که پس از آنکه ویژگیهای مشخص کنندهٔ یک گروه، مدتی طولانی را در انعطاف‌پذیری اولیهٔ تکاملی می‌گذراندند، بتدریج در حالت تغییرناپذیرتری سخت می‌شدند. ممکن است در پاسخ به فشارهای انتخاب طبیعی برنامه‌های رشدی ویژه‌ای پدید آمده باشند تا میزان تغییرات طرحهای بدنی موفقیت‌آمیز را محدود کنند. ما همین قدر می‌توانیم دربارهٔ اینکه کدام مکانیسم ژنتیکی ممکن است رشد را دائماً میزان کند، به کاوش نظری بپردازیم، اما معلوم شده است که ژنهای بسیار زیادی بر الگوهای رشد اولیهٔ گونه‌های دارای رابطهٔ نسلی دور از هم، کنترل مشابه دارند. ممکن است دورهٔ کامبرین زمانی به شمار آید که طی آن برنامه‌های ژنتیکی کنترل کنندهٔ طرحهای بدنی جنینی، در صورتهایی که امروزه می‌شناسیم نگه داشته شده باشند.

دلایل تأییدکنندهٔ منع رشد به میزان قابل توجهی تایید شده است. استدلالهای بسیاری از زیست‌شناسان این است که چون فرایند رشد با دقت بسیار زیاد میزان شده است، نمی‌تواند به سادگی دستخوش تغییر اساسی شود؛ بدین معنی که جهش یافته‌های حامل انحرافهای مربوط به رشد، معمولاً ناقصند و به سرعت می‌میرند. این تئوری، هم تنوع شکل جانوران را در دورهٔ کامبرین توضیح می‌دهد و هم عدم پیدایش طرحهای بدنی جدید پس از انقراضهای پرمین پایانی را. همچنین، علت بالا ماندن سرعت پیدایش گونه‌ها[۱] ــ برطبق اندازه‌گیریهای سپکاسکی[۱] ــ بر پایهٔ همین تئوری مشخص می‌شود؛ یعنی تغییراتی که با تفاوتهای موجود میان گونه‌های نزدیک یکدیگر مطابقت دارند دچار منع رشد نشده‌اند.

با همهٔ اینها، نگارنده ناگزیر است که قدری تردید به خود راه دهد گویا به راستی منع رشد می‌تواند ثبات طرحهای بدنی چندین میلیون ساله را توجیه کند؟ آیا واقعاً خارتنان به صورت خارتن مانده‌اند چون انتخاب طبیعی نمی‌توانست برنامهٔ رشد آنها را مختل کند؟

اما، منع رشد نمی‌تواند مطلق باشد زیرا، در بعضی موارد اصول رشد نقض شده‌اند. در قورباغهٔ درختی مثال مخصوصاً جالبی مشاهده می‌شود. شکل همهٔ قورباغه‌های بالغ تقریباً همانند است. اما معدودی از گونه‌های قورباغه درختی کیسه‌ای دارند که تخمهای فوق‌العاده بزرگ و زرده‌دار خود را در آن می‌گذارند. مرحلهٔ جنینی این گونه‌ها با بقیهٔ قورباغه‌های درختی تفاوت دارد زیرا جنین اولیهٔ آنها رشد خود را به جای آنکه در آب بگذرانند، در درون تخم درشت و بر خشکی طی می‌کند.



شکل ۷ ــ ماهیان گوپی می‌توانند در ظرف چند نسل چنان متحول شوند که با تغییرات محیط مقابله کنند. در شرایطی که ماهیان صیاد فراوان باشند انتخاب طبیعی گوپیهای کمرنگ و شفاف (شکل بالا) را انتخاب می‌کند. وقتی که صیادها کم هستند، گوپیهای نر دارای دم بزرگ و خوش رنگ، که جلبْ توجه ماده‌ها را می‌کند، در محیط بیشتر می‌شوند (شکل پایین).

این دگرگونی رشد بر گاسترولاسیون، یعنی حساسترین دورهٔ رشد، که در آن عینیت بافتها تعیین می‌شود، تأثیر می‌گذارد. چنانکه ل. ولپرت جنین‌شناس، گفته است، «آنچه به راستی مهمترین رویداد زندگی شما به شمار می‌آید تولد، ازدواج یا مرگ نیست، بلکه مرحلهٔ گاسترولاسیون است.» این واقعیت، که رشد ممکن است در معرض دگرگونی اساسی قرار گیرد، گویای آن است که جنین ابتدایی همیشه در برابر دگرگونیهای رشد مقاوم نیست.

پژوهشهایی که اخیراً دربارهٔ رشد خارتنان انجام شده‌اند نیز همین پیام را می‌دهند. پژوهشگران دانشگاههای واندربلت[1] و ایندیانا، نشان داده‌اند که چنین گونه‌های مختلف توتیای دریایی تنوع بسیار دارد. گاهی لاروهای گونه‌هایی که به یکدیگر نزدیکند تفاوتهای اساسی نشان می‌دهند. بعضی از آنها برای زندگی شناوری طولانی و تغذیه از پلانکتونها سازگارند، اما بعضی دیگر برای دورهٔ کوتاه عدم تغذیه، متناسب شده‌اند درحالی که به وسیله جریانهای آب پراکنده می‌شوند. این ویژگیهای اکولوژیکی متضمن تفاوتهای چشمگیری در الگوهای رشد لارو می‌شوند و حتی بخشهایی را از جنین که برای ایجاد ساختارهای فرد بالغ به کار می‌روند، دگرگون می‌سازند. با همهٔ اینها، افراد بالغ گونه‌های توتیا عملاً قابل تمیز از هم نیستند. همهٔ آنها اسکلت تخم مرغی خاردار دارند، به وسیله «پاهای» لوله‌ای حرکت می‌کنند و صخره‌ها را با آرواره‌های خود می‌تراشند.

این چنین تنوعی، برخلاف استدلال مؤید منع رشد، گویای آن است که شکل افراد بالغ بایستی از این رو باقی مانده باشد که برای جانور کار آمده بوده است، نه اینکه چون قدرت تغییر نداشت. اگرچه شک نیست که تکامل ریخت شناختی به وسیلهٔ فرایند رشد هدایت می‌شود ولی انتخاب طبیعی ممکن است عامل اصلی برقرار شدن مجموعهٔ ویژگیهای مشخص کنندهٔ شاخه جاندار باشد.

بنابراین، انفجار تنوع جانوری کامبرین همچنان در ابهام است. تداوم طرحهای بدنی پدید آمده در آن دوره احتمالاً متضمن حقایق مهمی دربارهٔ الگوهای تکامل است. گولد، بر پایهٔ این فرض که جانوران کامبرین گوناگونی خارق‌العاده داشتند، پیشنهاد می‌کند که تصادف بود ــ نه انتخاب طبیعی ــ که نقش عمده را در تعیین اینکه کدام دودمان تکاملی باقی مانده است و کدام منقرض شده، برعهده داشت. با وجود این، زیای کامبرین ممکن است کم تنوعتر از آنچه گولد و دیگران فرض کرده‌اند، بوده باشد. محققان دانشگاه برستول و موزهٔ تاریخ طبیعی لندن نشانه‌های مؤید این اندیشه به دست آورده‌اند؛ مثلاً، اینان نشان داده‌اند که تنوع شکل بدن بندپایان کنونی کمتر از تنوع بندپایان دورهٔ کامبرین به نظر نمی‌رسد.

افزون بر آن، اهمیت تکامل طرحهای بدنی جانوران هرچه بوده باشد، تحول آنها بعد از دورهٔ کامبرین چشمگیر بوده است. به سادگی نمی‌توان از این احتمال، که جانوران کنونی نمایندهٔ پیشرفت تکاملی نسبت به پیشینیان خود هستند، چشم پوشید. داروین از همان آغاز، اندیشهٔ «پیشرفت تکاملی» را که سبب شده است آدمی در قلهٔ پلکان تکامل قرار گیرد، مورد انتقاد قرار می‌داد. گرایش به سوی پیشرفت که در میان گروهی جاندار مشاهده می‌شود، به معنی آن نیست که جانداران حاصل نسبت به جانداران دیگر، به جز نسبت به پیشینیان خود، برتر هستند. اما، دودمانهای تکاملی بسیاری در برابر تغییراتی، همچون وجود صیاد، دگرگونیهای اقلیمی و عمق آب، یا تغییرات دیگر، پاسخهای قابل تشخیص نشان می‌دهند.

استدلال نگارنده این است که این گرایشهای تکاملی نمایندهٔ بهبود گام به گام کلاسیکی داروینی هستند در پاسخ به نوعی مبارزه‌طلبی محیطی. مثلاً، تکامل پیشروندهٔ پستانداران از خزندگان شبه پستاندار، بیش از ۱۰۰ میلیون سال وقت گرفت تا کامل شود و در جهت تنش بهتر در محیط خشکی پیشرفت نشان دهد. تکامل استخوان دوم گام، کارآیی عمل جویدن را افزایش داد. دندانها از ریخت مخروطی ساده خزندگی، که بارها در طول عمر جانور می‌افتند و عوض می‌شوند، به ریخت پیچیده‌ای که فقط یکبار در عمر تجدید می‌شوند، تغییر یافتند. حتی نقطهٔ اتکای مفصل آرواره‌ها تغییر کرده است؛ در بعضی از فسیلهای حد واسط خزنده و پستاندار، مفصل آرواره خزندگی همراه با مفصل آرواره پستانداری وجود دارد.

چنانچه خزندگان و پستانداران کنونی با هم مقایسه شوند مشاهده خواهد شد که غیر ممکن است که مفصل‌بندی آرواره بدون جهش مهیب و کلی (وبسیار غیر محتمل) تغییر یافته باشد. اما فسیلها ثابت می‌کنند که آروارهٔ پستاندارزی بتدریج و با گذشتن از اشکال حد واسط تکامل یافته است. مدارک فسیل، نه تنها اهمیت انتخاب طبیعی را، برخلاف پیشنهاد ج. گولد، نفی نمی‌کنند، بلکه بر شمول تأثیر آن گواهی می‌دهند.

آیا طرحهای بدنی تراز شاخه‌ها که تابدین حد کهن و پایدارند، به راستی بهترین راه حل مسائل بقا و تولید مثل هستند که از طریق یک دور تلاش تند و زودرس انتخاب طبیعی، پیش از آنکه انعطاف‌پذیری رشد از میان برود، فراهم آمده‌اند؟ یا اینکه ترکیبهای اتفاقی از ویژگیهایی هستند که به وسیلهٔ حوادث تاریخی گرد آمده‌اند؟ به اعتقاد نگارنده، بهترین چیزی که در حال حاضر می‌توان گفت این است که هر دو شق بیان شده تا اندازه‌ای حقیقت دارند.

تکامل در تراز گونه‌ها بدون کم و کاست ادامه دارد، اما به نظر نمی‌رسد که در طرحهای بدنی باقی‌مانده تنوعی پدید آید. به هر علت نامعلومی که باشد، گمان نمی‌رود که هرگز انفجار تنوع جانوری دیگری، همانند آنچه روزی در اوایل دورهٔ کامبرین رخ داد، باز هم روی دهد.

زیرنویسها:

۱ ــ Smithsonian
۲ ــ Wiwaxia
۳ ــ Scaleworm
۴ ــ polychaetes
۵ ــ onychophora
۶ ــ Velvet W
۷ ــ ecologieal niches
۸ ــ Paul klerks
۹ ــ Foundry cove
۱۰ ــ strider
۱۱ ــ midge
۱۲ ــ storm king
۱۳ ــ West Point
۱۴ ــ Limnodrilus hoffmeistori
۱۵ ــ J. A. Endler
۱۶ ــ Trinidadian
۱۷ ــ geneva
۱۸ ــ speciate
۱۹ ــ Chesapeake
۲۰ ــ chesapecten
۲۱ ــ J. Miyaza
۲۲ ــ dag whelk
۲۳ ــ periwinkle
۲۴ ــ Maine
۲۵ ــ genetic drift
۲۶ ــ bias
۲۷ ــ P. D. Gingerich
۲۸ ــ M. lynch
۲۹ ــ Sepkoski
۳۰ ــ Vanderbilt