آیا پرندگان خزنده‌اند؟

نگاهی مقایسه‌ای به توسعه و تحول دانش رده‌بندی

عرفان خسروی
نویسنده و روزنامه‌نگار علم
دانشجوی دکتری بیوسیستماتیک دانشگاه تهران

کلیدواژه‌ها: رده‌بندی لینه‌ای، رده‌بندی تکاملی، رده‌بندی فیلوژنتیک، کلادیستیک، گراد، آرکئوپتریکس، مونوفیلتیک، پلی‌فیلتیک، پارافیلتیک، سیناپومورفی، سیم‌پلزیومورفی، آپومورفیک، پلزیومورفیک.

اشاره

این روزها هر کتاب مرجع زیست‌شناسی را که باز می‌کنی، با حرف‌های عجیب و غریب روبه‌رو می‌شوی. وقتی به عجیب‌ترین ادعای این کتاب‌ها می‌رسی، دیگر مطمئن نیستی درست متوجه شده‌ای یا نه، یا شاید نویسندهٔ کتاب شاعر بوده و خواسته استعاره و مجاز و اغراق در سخن به کار برد.

ولی نه، کتاب علمی که جای این حرف‌ها نیست! می‌بینی نوشته: «پرنده‌ها یک گروه دیگر از خزندگان هستند که...». همین؛ مگر پرندگان یک گروه مجزا از مهره‌داران نبودند؟ مگر پنج رده مهره‌دار نداشتیم: ماهی‌ها، دوزیستان، خزندگان، پرندگان و پستانداران؟ حالا چرا پرندگان رفته‌اند جزو خزندگان؟ سرِ زیست‌شناسی چه بلایی آمده که این طوری شده است؟ تازه، اگر بیشتر بگردی چیزهای عجیب‌تری هم ممکن است ببینی. مثلا اینکه همهٔ پستانداران و خزندگان (از جمله پرندگان) و دوزیستان، ماهی هستند. شاید کتاب‌های زیست‌شناسی را داده‌اند زیست‌شناس‌های شاعر بنویسند، یا چند صباحی است که ما از برخی جنبه‌های زیست‌شناسی عقب افتادیم.

بحث رده‌بندی یکی از مباحثی است که در زیست‌شناسی خیلی کم به آن پرداخته‌ایم؛ شاید چون تصور می‌کردیم که دانشمندان مدت‌ها پیش آن را به پایان رسانده‌اند و حالا نوبت شاخه‌های نوین زیست‌شناسی است. راستی اگر رده‌بندی واقعاً تمام شده باشد و پرونده‌اش را بسته باشند، آیا اصلاً می‌توانیم آن را به‌عنوان شاخه‌ای از علوم‌تجربی محسوب کنیم؟ مگر قرار نیست علم تجربی حرف‌های قطعی و دائمی نزند؟[1] در اینجا ابتدا مروری به تاریخچه رده‌بندی پس از وضع رده‌بندی لینه‌ای می‌اندازیم و سپس دربارهٔ روش رده‌بندی نوینی که این روزها بیشتر و بیشتر نامش را می‌شنویم و به‌ویژه تفاوت‌های این روش نوین با روش رده‌بندی لینه‌ای کمی صحبت می‌کنیم. این روش نوین رده‌بندی کلادیستیک نام دارد.

رده‌بندی در مسیر زمان

اگر مهم‌ترین اتفاق تاریخ زیست‌شناسی توصیفی را وضع رده‌بندی لینه‌ای بدانیم اغراق نکرده‌ایم. بدون رده‌بندی لینه‌ای زیست‌شناسی در همان دوران اندیشهٔ تقسیم جهان به جماد و نبات و گیاه باقی می‌ماند. اما لینه فقط آغازگر راه بود. مهم‌ترین سلسله رویدادها در مبحث رده‌بندی در نیمهٔ قرن بیستم شروع شد. شاید مهم‌ترین تغییر در رده‌بندی جانداران از دههٔ ۱۹۵۰ تا کنون، مرتبط با توسعه و کاربرد روش‌های کلادیستیک در رده‌بندی باشد. ویلی هنیگ[2] حشره‌شناس آلمانی در دههٔ ۱۹۳۰ جزوه‌ای تحت عنوان «جایگاه سیستماتیک در جانورشناسی»[3] تألیف و در آن برای نخستین بار طرح کلادیستیک یا آنالیز فیلوژنتیک را مطرح کرد. این جزوه با تأخیری چند ساله، در سال ۱۹۷۸ (دو سال پس از مرگ هنیگ) منتشر شد.

کلادیستیک روشی عملی و جالب برای انجام رده‌بندی بود. در این روش صفت‌های موجودات زنده‌ای را که قصد بررسی آن‌ها را داریم، به‌صورت رقمی در کنار یکدیگر قرار می‌دهیم و با انجام تحلیل‌های ریاضی، موجوداتی که بیشترین شباهت را به یکدیگر دارند، یکی یکی مشخص و در کنار یکدیگر رده‌بندی می‌کنیم[4].

اگرچه کلادیستیک امروزه به تنها روش علمی رده‌بندی بدل شده است؛ اما طی سال‌های دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ به تدریج فراگیرتر شد و در دههٔ ۱۹۸۰ برای نخستین بار با موجی از اقبال از سوی متخصصان تاکسون‌های مختلف روبه‌رو شد. در دههٔ ۱۹۸۰ بسیاری از تاکسون‌های جانداران برای نخستین بار مورد آنالیزهای فیلوژنتیک قرار گرفتند. اما کلادیستیک علاوه بر اینکه روشی عملگرایانه برای انجام رده‌بندی بود، منطقی علمی نیز در دل خود داشت که باعث

زیر و رو شدن بسیاری از جنبه‌های سنتی زیست‌شناسی شد، زیرا نتایج متفاوتی نسبت به رده‌بندی‌های سنتی زیست‌شناختی در پی داشت. در دهۀ ۱۹۹۰رقابت میان متخصصان هوادار رده‌بندی سنتی (غیرکلادیستیک) و رده‌بندی کلادیستیک کاملاً به نفع طرفداران کلادیستیک چرخید[۵] و زیست‌شناسانی مثل ارنست مایر[۶] جزء آخرین زیست‌شناسان سرشناسی بودند که محتاطانه در آثار خود رده‌بندی غیرکلادیستیک را نیز به‌عنوان یک روش دیگر معتبر می‌دانستند، هرچند این دیدگاه در همان دهۀ ۱۹۹۰ نیز منتقدانی داشت[۷]. در حقیقت یکی از نخستین کسانی که کوشید پاسخی به پافشاری سنت‌گرایانۀ مایر بدهد، خود هنیگ بود[۸].

رده‌بندی لینه‌ای

بحث ما درباره تحول فکری رده‌بندی است، بنابراین انتظار مرور وقایع تاریخی عصر لینه و دستاوردهای او را نداشته باشید. اشاره به رده‌بندی لینه‌ای، بیشتر برای پر رنگ‌کردن تباین میان رده‌بندی نوین با این تفکر و چرایی انتساب «نگاه سنتی» به آن است.

رده‌بندی لینه‌ای نگاهی برآمده از سنت‌های پیشاعلمی به موجودات زنده دارد. منظور از سنت‌های پیشاعلمی دیدگاه‌های بزرگان فلسفۀ یونان باستان است که گرچه پدران علم تجربی محسوب می‌شوند، اما در عین حال پدران تفکر سنت‌محور پیش از رنسانس نیز هستند. نگاه پیشاعلمی یعنی نگاهی که در آن ادعای کشف حقایق به‌صورتی جزمی و تغییرناپذیر وجود دارد و تجربه‌گرایی یک تجمل بیهوده و غیرضروری است. این نگاه در نوشته‌های دانشمندانی که زمانی بر اساس همین شیوه رده‌بندی دست به تألیف زده‌اند نیز وجود دارد. لینه موجودات به سه گروه جمادات، نباتات و حیوانات تقسیم می‌کرد. عنوان کامل کتاب لینه «نظام طبیعت بر سه قلمرو طبیعی»[۹] ناظر به همین موضوع است. یکی از جنبه‌های پیشاعلمی بودن این نگاه، غیرتکاملی بودن آن است: در نگاه لینه موجودات زنده خویشاوندان یکدیگر نیستند، بلکه در نردبانی رو به تعالی قرار دارند که رأس آن آدمی و بُن آن جمادات قرار دارند. این نگاه را نمی‌توان نگاهی تکاملی نامید، هرچند متقابلاً نمی‌توان ادعا کرد که لینه قائل به تغییر گونه‌های موجودات زنده نبوده است. در هر صورت، حتی اگر بپذیریم که لینه می‌دانسته گونه‌های شبیه به هم خویشاوند یکدیگرند، رده‌بندی او قائل به خویشاوندی میان گروه‌های بزرگ‌تر موجودات زنده نیست.

بحث رده‌بندی یکی از مباحثی است که در زیست‌شناسی خیلی کم به آن پرداخته‌ایم؛ شاید چون تصور می‌کردیم که دانشمندان مدت‌ها پیش آن را به پایان رسانده‌اند و حالا نوبت شاخه‌های نوین زیست‌شناسی است

رده‌بندی تکاملی

رده‌بندی تکاملی پس از وضع نظریۀ داروین و والاس دربارۀ تکامل از طریق انتخاب طبیعی آغاز شد. این نوع رده‌بندی همان رده‌بندی سنتی و معمولی است که طی بیش از یک قرن یکه‌تاز دنیای سیستماتیک موجودات زنده بوده است. در رده‌بندی تکاملی گروه‌های موجودات زنده تغییر می‌کنند، به یکدیگر تبدیل می‌شوند و تکامل می‌یابند. مثلاً، خزندگان به پرندگان تبدیل شده‌اند. نکته این است که در این رده‌بندی میان خزنده و پرنده مرزی وجود دارد که بر اساس صفات مزدوج پست/عالی مشخص می‌شود. مثلاً، خزندگان خونسردند (صفت پست)، امّا پرندگان خونگرم (صفت عالی)؛ خزندگان می‌خزند (صفت پست)، در حالی که پرندگان می‌پرند (صفت عالی) و مانند اینها. اسکلت بنیادی این نوع رده‌بندی همان نگاه لینه‌ای است، البته با تغییرات فراوان در دل گروه‌ها. مثلا لینه سمندرها، قورباغه‌ها، مارمولک‌ها، مارها، لاک‌پشت‌ها و تمساح‌ها را در گروهی واحد قرار داده بود، امّا زیست‌شناسان این جانداران را در دو گروه دوزیستان و خزندگان جای دادند.

بنابراین، از منظر روش علمی، رده‌بندی تکاملی یک گام به مفهوم علم تجربی نزدیک‌تر شده بود. چون در این نوع رده‌بندی خزندگان و دوزیستان صرفاً بر اساس یک سنت دیرینه، در کنار هم قرار نمی‌گرفتند، بلکه شواهد تجربی موجب نقد گروه‌بندی لینه شده بود و لذا این دو گروه را از یکدیگر جدا کرده بودند. از این رده‌بندی معمولاً با نام رده‌بندی تکاملی یاد می‌کنند. شاید بتوان از دو نظر این نام‌گذاری را با مسما دانست:

اولاً این رده‌بندی تحت تأثیر نظریۀ انتخاب طبیعی و نسخۀ ارتقا یافتۀ رده‌بندی لینه‌ای بود. در ثانی، این نوع رده‌بندی قائل به تکامل هر کدام از گروه‌ها از دل یک گروه ابتدایی‌تر است. در رده‌بندی تکاملی، نه‌تنها صفت‌های موجودات زنده به‌صورت پست/عالی درنظر گرفته می‌شوند، بلکه خود موجودات زنده نیز نسبت به یکدیگر پست‌تر یا عالی‌تر شمرده می‌شوند. در حقیقت می‌توان گفت همان نگاه نردبانی که به‌طور سنتی در رده‌بندی لینه‌ای وجود داشت، در رده‌بندی تکاملی نیز خودنمایی می‌کند. مثلا در سنت رده‌بندی پیش از لینه (که از زمان ارسطو تا زمان لینه تغییر اندکی کرده بود) درخت نخل به‌عنوان عالی‌ترین گیاه و نزدیک‌ترین نبات به جانوران شمرده می‌شد. این ادعا در رده‌بندی لینه‌ای و تکاملی نیز هماوردهایی دارد: اعتقاد به اینکه ابتدایی‌ترین جانوران از جمله شقایق‌های دریایی و اسفنج‌ها در حقیقت مرز میان جانوران و گیاهان هستند، نمونه‌ای از درک کماکان سنت‌محور از تنوع زیستی در این دیدگاه‌ها است.

صفت‌های موجودات زنده در رده‌بندی تکاملی

روش کار در رده‌بندی تکاملی، مقایسۀ ظاهری موجودات زنده بر اساس صفاتی است که بیشتر از بقیه به چشم می‌آیند. برای مثال، اهمیت صفتی مثل تک‌سلولی یا پرسلولی بودن در رده‌بندی تکاملی بسیار بیشتر از حضور یا عدم حضور یک ساختار درون سلولی است. به علاوه، صفت‌های مهم و پراهمیت گروه‌های بزرگ، در این نگاه

همیشـــه در کنار هم و مکمل یکدیگر فرض می‌شوند. برای مثال در رده‌بندی تکاملی همهٔ خزندگان خونســـردند، می‌خزند و مغزِ کوچک دارند و همهٔ سخت‌پوستان پوستِ سخت دارند. در این نوع نگرش، اگر سخت‌پوستی پوشش سخت بدن و پاهای بندبندش را از دست بدهد، دیگر سخت‌پوســـت و حتی بندپا نخواهد بود و اگر خزنده‌ای روی پا بایستد و خون‌گرم شود، دیگر خزنده نیست، بلکه به یک گروه جدید وارد شده است. بنابراین روش کار در رده‌بندی تکاملی، با وجود اینکه از رده‌بنـــدی لینه‌ای پیش‌تر آمـــده و به مفهوم تجربی علم[10] تا حدی نزدیک‌شده، هنوز دچار نگرش انسانی است. در نگاه زیست‌شناسانِ قائل به رده‌بندی تکاملی، انسان کامل‌ترین موجود زنده است و درست مثل رده‌بندی لینه‌ای، همهٔ موجودات در قیاس با انسان سنجیده می‌شوند. خون‌گرم بودن عالی‌تر از خون‌ســـرد بودن است، چون انسان خون‌گرم اســـت. بنابراین در رده‌بندی تکاملی، یک نگاه نردبانی به تکامل وجود دارد و موجودات زنده جدیدتر به منزلهٔ نگاشت‌های جدیدتری از نیاکان قدیمی‌ترشان در نظر گرفته می‌شوند.

حلقهٔ گمشده

به این ترتیب در رده‌بندی تکاملی مفاهیمی چون «حلقهٔ گمشده» یا «حد واسط» فراوان به چشم می‌خورد. حلقه‌های گمشده یا گونه‌های حد واسط، نمونه‌هایی هستند که در مرز افتراق دو گروه قرار دارند. یک مثال کلاسیک از این گونه‌های حد واسط *آرکیوپتریکس*[11] است. این سرده که به‌طور سنتی نیای پرندگان امروزی فرض می‌شود، از یک و نیم سده پیش، نماد تکامل خزندگان به پرنـــدگان بوده اســـت. فرض اغلب دانشـــمندان در اوایل قرن بیستم چنین بود که خزندگانی که تفاوتی چندان بـــا مارمولک نداشـــتند، با تغییراتی ناگهانی به موجودی مثل *آرکیوپتریکس* تبدیل شده و سپس بـــه هویتی جدید ارتقا یافته‌اند. خود *آرکیوپتریکس* نه خزنده بوده، نه پرنده و در عین حال هم خزنده بوده و هم پرنده. همین‌جا به یکی از تناقضات مهم رده‌بندی تکاملی با مفهوم علم تجربی برمی‌خوریم. اینکه *آرکیوپتریکس* به عنوانِ سنگِ نشان آغاز ردهٔ پرندگان شناخته می‌شود، حاصل استنتاج شکاکانه علمی نیست، بلکه حاصل یک اتفاق است. به علاوه، اینکه *آرکیوپتریکس* «حد واسط» شناخته می‌شود به این دلیل است که در ذهن زیست‌شناســـان یک «خزنده مثالی» و یک «پرنده مثالی» وجود دارد و *آرکیوپتریکس* شـــباهت‌هایی به هرکدام از آن‌ها دارد. مســـئله اینجاست که هر دو آن خزنده مثالی (جانوری با پوست پوشـــیده از فلس و بدن سرد و کند، پاهایی کوتاه و شکمی خزنده) و آن پرنده مثالی (جانوری با بدن پوشـــیده از پر و منقاری بی‌دندان که قادر اســـت پرواز کند) بر اساس ذهنیات انسانی، سنجش انسان‌محور و گزینش ســـلیقه‌ای تعدادی از صفات ظاهری برســـاخته شده‌اند. به این معنی که هزاران صفت آناتومیک و مولکولی که می‌توانند مبنای مقایسه پرندگان و خزندگان باشند، به نفع همین چند صفت (داشتن یا نداشـــتن دندان، پر و مانند این‌ها) کنار رفته‌اند، زیرا فرض مطلق بر این بوده اســـت که همهٔ این صفت‌ها در روندی همیشگی رو به تعالی و شبیه‌شدن به انسان دارند. بنابراین، با اکتفا به تنها چند صفت کلی و ظاهری دو گروه خزندگان و پرندگان از هم تفکیک می‌شـــوند و هر موجودی که چون *آرکیوپتریکس* برخی از این صفات را داشته باشد و برخی را نداشته باشد، حلقهٔ گمشدهٔ میان دو گروه تلقی می‌شود.

در رده‌بنـــدی تکاملی، همان‌طور که گفته‌شـــد، یک تاکســـون می‌تواند در نقطه‌ای از تکامل به پایان برسد و به یک تاکسون جدید و هم‌عرض تبدیل شـــود. برای مثال پرندگان از نقطه‌ای که خزندگان به *آرکیوپتریکس* می‌رسند، آغاز می‌شود و خزندگان در همین نقطه پایان می‌یابند. چیزی که از این نوع نگاه در ذهن متبادر می‌شود، این است که تا پیش از *آرکیوپتریکس* هر چه بوده، کمابیش شبیه به آن خزنده مثالی بوده (یعنی خون‌سرد و فلس‌دار و کند و خزنده) و هر چه پس از آن آمده ناگهان شبیه پرنده مثالی شده است (یعنی خون‌گرم، پردار، سریع و پروازکننده).

اگر چنین می‌بود منطقی بود که رده‌بندی تکاملی هم‌چنان برجای باشد. اما واقعیت تکامل این چنین نیست. بنابراین، باید نوع دیگری به تاکسون‌ها و صفات آن‌ها نگریست تا نتیجهٔ رده‌بندی با چیزی که در واقعیت رخ داده متناقض نباشـــد. با توســـعه و فراگیر شدن رده‌بندی فیلوژنتیـــک علم رده‌بندی مجدداً دچار تحولی بزرگ شـــد. مهم‌ترین تحول ایجادشده در رده‌بندی، مربوط به نوع نگاه به تاکسون‌ها و صفات آن‌ها بود.

لینه موجودات به سه گروه جمادات، نباتات و حیوانات تقسیم می‌کرد. عنوان کامل کتاب لینه «نظام طبیعت بر سه قلمرو طبیعی» ناظر به همین موضوع است

مقایسهٔ رده‌بندی تکاملی و رده‌بندی فیلوژنتیک

تحولاتـــی کـــه رده‌بنـــدی فیلوژنتیک در زیست‌شناســـی به وجود آورد، تنها با مقایسهٔ رده‌بندی تکاملی و فیلوژنتیک قابل بحث‌اند. در رده‌بندی فیلوژنتیک مفاهیمی چون حلقهٔ گمشـــده و حد واســـط معنایـــی ندارند. به علاوه، در این رده‌بنـــدی همهٔ صفات به یک اندازه اهمیت دارند و معیارهای گزینش انسانی باعث نمی‌شود صفات ظاهری بار بیشـــتری در رده‌بندی داشـــته باشـــند. به این ترتیب در رده‌بندی فیلوژنتیک موجودی مثل *آرکیوپتریکس* هم‌چنان یک خزنده اســـت و خود به‌عنوان موجودی مســـتقل، جایگاهی فارغ از نسل‌های بعدی موجوداتـــی دارد که به تدریج برخی صفات جدیدتر کســـب کردند تا ما امروز آن‌ها را پرندگان بنامیم. در این نگاه، *آرکیوپتریکس* به وجود نیامده تا حد واسط پیدایش یک گروه دیگر باشد، بلکه *آرکیوپتریکس* تحت فشارهای انتخابی ویژهٔ خود و در مسیری کاملاً جدا از هر موجود دیگـــری تکامل یافته اســـت. یکی از مهم‌تریـــن تفاوت‌های رده‌بندی تکاملی و رده‌بندی فیلوژنتیک همین‌جا دیده می‌شـــود. در رده‌بندی فیلوژنتیک نمی‌توان - و نبایـــد- موجودی همچون *آرکیوپتریکس* را که فاقد برخی صفات مشـــترک پرندگان امروزی است، یک نمونهٔ حد واسط، یا حتی یک نمونهٔ «تکامل‌نیافته» بدانیم. نردبانی تکاملی که در

رده‌بندی تکاملی همیشه به‌سوی تعالی انسان‌گونه پیش می‌رفت، در رده‌بندی فیلوژنتیک بی‌معناست. حتی *آرکیوپتریکس* نیز به اندازه‌ای که نیاز داشته تکامل یافته و نمی‌توان گفت کبوتر از آن موجود باستانی تکامل‌یافته‌تر است. به همین ترتیب نمی‌توان گفت که انسان از باکتری پیشرفته‌تر یا درخت کاج از خزه تکامل‌یافته‌تر است. مسئله اینجاست که در نگاه فیلوژنتیک تکامل به‌صورت خطی- یا نردبانی- رخ نمی‌دهد، بلکه به‌صورت شاخه‌شاخه شدن موجودات و افتراق آن‌ها از یکدیگر رخ می‌دهد؛ همان‌طور که در معنای دقیق واژهٔ فیلوژنی وجود دارد. واژهٔ «فیلوژنی» از ترکیب دو واژهٔ یونانی باستان «فولون»[۱۲] به معنی شاخه، قبیله و نژاد و «گنسیس» یا «گنتیکوس»[۱۳] به معنی زایش و پیدایش ساخته شده‌است.

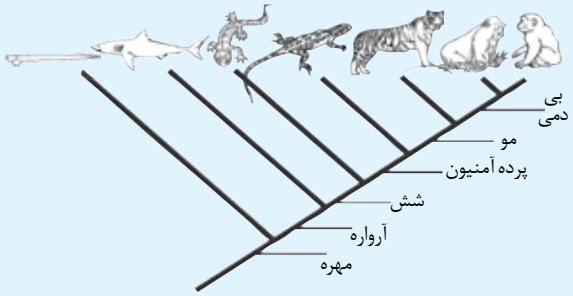
قیاس در رده‌بندی فیلوژنتیک برچه مبنایی است

در رده‌بندی تکاملی وقتی صحبت از «تکامل‌یافته» و «تکامل‌نیافته» می‌شود، سخن از مقایسهٔ میان موجودات مختلف پیش می‌آید. وقتی گفته می‌شد یک موجود تکامل‌یافته است، منظور این بود که این موجود از بسیاری گونه‌های ابتدایی‌تر تکامل‌یافته‌تر است. تکامل‌یافته‌بودن یعنی «عالی‌بودن» و «برتر بودن» و «کامل‌بودن» یک موجود زنده نسبت به موجودات «پست‌تر» و «عقب‌مانده‌تر». از آنجا که سنجه و متری یک‌سان و همیشگی برای اندازه‌گیری تکامل‌یافتگی موجودات زنده وجود ندارد، نمی‌توان این قیاس را در چارچوب علم تجربی گنجاند. برای مثال چرا باید تصور کنیم یک ماهی از یک خرچنگ تکامل یافته‌تر است؟ مگر خرچنگ دارای صدها ویژگی تکامل‌یافتهٔ منحصر به بندپایان نیست که در مهره‌داران مثالش پیدا نشده است؟

درک ما از سرشت تکامل نشان می‌دهد که تکامل با شاخه‌شاخه‌شدن و فیلوژنی، باعث تنوع و تغییر موجودات می‌شود، نه با روند تغییرات نردبانی. موجودات زنده در امتداد یکدیگر نیستند که بتوانیم یکی را پیش‌تر از دیگری بدانیم، بلکه در شاخه‌هایی که در مسیرهای مختلف و گاهی موازی از یکدیگر جداشده‌اند و حرکت می‌کنند. همان‌طور که گفتیم، سنجه‌ای یکسان برای سنجیدن تکامل‌یافتگی موجودات نداریم، چون هر موجودی در شاخهٔ فرعی مربوط به خود دارای صفت‌هایی متفاوت با دیگران می‌شود و چون ماهیت این صفات متفاوت است، نمی‌توان حضور یکی را مهم‌تر یا نشانه تکامل‌یافتگی بیشتر دانست.

در عوض، در رده‌بندی فیلوژنتیک، آنچه مبنای مقایسهٔ ابتدایی موجودات زنده قرار می‌گیرد، حضور یا عدم حضور صفات است. مثلاً پر یک صفت قابل شناسایی در تعدادی از مهره‌داران است. وقتی قصد بررسی مهره‌داران مختلف را داریم می‌بینیم پر در گنجشک، کبوتر، عقاب و خلاصه در همهٔ موجوداتی که به‌طور سنتی «پرنده» نام دارند وجود دارد. به علاوه، پر در چندین نمونه از مهره‌داران سنگواره از جمله *آرکیوپتریکس* نیز وجود دارد. اگر هیچ صفت دیگری در میان نباشد، به راحتی می‌توان بر مبنای حضور پر، یک تاکسون شامل همه آن‌هایی که پر دارند در نظر بگیریم. وقتی به نمونه جدیدی می‌رسیم فقط کافی

	مهره	آرواره	شش	پرده آمنیون	مو	بی‌دمی
ماهی	۱	۰	۰	۰	۰	۰
کوسه	۱	۱	۰	۰	۰	۰
سمندر	۱	۱	۱	۰	۰	۰
مارمولک	۱	۱	۱	۱	۰	۰
ببر	۱	۱	۱	۱	۱	۰
گوریل	۱	۱	۱	۱	۱	۱
شمپانزه	۱	۱	۱	۱	۱	۱



شکل۱. کلادیستیک یعنی چه؟ در کلادیستیک صفات یا توالی‌های مولکولی موجودات زنده به‌صورت رقم در می‌آیند (جدول را ببینید) و با استفاده از این ارقام و آنالیز آن‌ها درختی رسم می‌شود که کلادوگرام نام دارد. از روی کلادوگرام می‌توان پی‌برد کدام موجودات شباهت و خویشاوندی بیشتر و نیای مشترک جدیدتری با هم دارند. مثلاً نیای مشترک گوریل و شمپانزه، جدیدتر و شباهت میان آن‌ها بیشتر از بقیه نمونه‌هاست. سمندر به ببر و گوریل و شمپانزه شبیه‌تر است تا به کوسه و مارماهی. از همه مهم‌تر اینکه کوسه نیز به سمندر و ببر و گوریل و شمپانزه شبیه‌تر، نزدیک‌تر و دارای خویشاوندی نزدیک‌تر است، تا به مارماهی. برخلاف تصور بسیاری، کلادوگرام چیزی درباره زمان زندگی موجودات زنده مشخص نمی‌کند. مثلاً در این تصور مارماهی دهان‌گرد (لامپری) پیش از بقیهٔ نمونه‌ها از شاخه‌های کلادوگرام جدا شده است، اما این به معنی قدیمی‌تر بودن لامپری نیست. لامپری، کوسه، سمندر، ببر، گوریل و شمپانزه همگی در عصر حاضر زندگی می‌کنند. به علاوه این کلادوگرام نشان می‌دهد نیای مشترکی میان این نمونه‌ها وجود داشته است؛ این نیای مشترک فرضی ولی وجود آن در مرحله‌ای از تاریخ زمین (طبق نظریه تکامل) قطعی است. بنابراین خود مارماهی لامپری نیای کوسه نیست، کوسه هم نیای سمندر نیست و الی‌آخر.

است بررسی کنیم این نمونه جدید پر دارد یا ندارد. اگر پر داشته باشد، در کنار دیگر مهره‌داران واجد پر قرار می‌گیرد و اگر پر نداشته باشد، بیرون آن تاکسون می‌ماند.

نکتهٔ مهم‌تر اینجاست که نبودن پر به معنی تکامل‌نایافتگی نیست. پر صفتی است که یک بار در نیای مشترک یک تاکسون ظاهر شده و به اخلاف بعدیِ آن نیای مشترک به ارث رسیده است. عدم حضور پر در دیگر موجودات، نشان نمی‌دهد که داشتن پر صفتی ابتدایی یا پست است، بلکه فقط نشان می‌دهد آن‌ها از نسل آن موجود پر دار نیستند.

به این ترتیب به جای اینکه موجودات زنده را در قیاس با یکدیگر برتر و پست‌تر بدانیم، تنها حضور یا عدم حضور صفت‌های مشخص و متعدد را در تک‌تک آن‌ها بررسی می‌کنیم.

صفت‌های موجودات زنده در رده‌بندی فیلوژنتیک

در رده‌بندی فیلوژنتیک، برخلاف رده‌بندی تکاملی تنها صفت‌هایی مبنای رده‌بندی و خویشاوندی موجودات زنده در نظر گرفته می‌شوند که برآمده از تغییری در گذشته تکاملی آن‌ها باشند. برای مثال، داشتن پر نشان‌دهندهٔ یک تغییر در گذشته موجوداتی است که پر دارند: همهٔ این موجودات از نسل موجودی هستند که زمانی پر نداشته و برای نخستین بار دارای پر شده است؛ بنابراین وجود پر در موجوداتی که پر دارند، ممکن است نشان دهد که همهٔ آن‌ها از نسل یک موجود هستند و لاجرم خویشاوندند. اما خون‌سرد بودن خزندگان، چنین وضعیتی ندارد. خزندگان خون‌سردند، چون گروه‌های دیگری از موجودات واجد تغییراتی در متابولیسم خود شده‌اند، ولی خزندگان واجد این تغییر نیستند. نه‌تنها خزندگان، بلکه قورباغه‌ها، سمندرها، ماهی‌های حوض، حلزون‌ها و درخت‌ها هم واجد این صفت متابولیک (خون‌گرم شدن) نیستند. بنابراین، همان‌طور که خون‌سرد بودن دلیل نمی‌شود که مارمولک، سمندر و مارماهی در یک گروه قرار بگیرند، دلیلی هم وجود ندارد که صفت مشترک خزندگانی مثل مار، مارمولک و لاک‌پشت، خون‌سرد بودن آن‌ها تلقی شود. خون‌سرد بودن در رده‌بندی فیلوژنتیک مبنای خویشاوندی نیست، زیرا از هیچ تغییری در گذشتهٔ تکاملی موجودات خون‌سرد حکایت نمی‌کند.

در سنت رده‌بندی پیش از لینه (که از زمان ارسطو تا زمان لینه تغییر اندکی کرده بود) درخت نخل به عنوان عالی‌ترین گیاه و نزدیک‌ترین نبات به جانوران شمرده می‌شد

در این نوع نگاه، صفاتی که نشان‌دهندهٔ تغییری در گذشته باشند، آپومورفی[14] نام می‌گیرند و صفاتی که نشان‌دهندهٔ ثبات وضعیت اولیه باشند پلزیومورفی[15] نامیده می‌شوند. آپومورفی و پلزیومورفی بستگی به جایگاه تاکسون در درخت فیلوژنتیک دارند.

تعیین اینکه حضور یا عدم یک صفت خاص، آپومورفیک است یا پلزیومورفیک آسان نیست، زیرا گاه صفاتی هستند که به صورت ثانویه ناپدید می‌شوند. در این حالت یک تاکسون بزرگ داریم که به‌صورت آپومورفیک واجد صفتی خاص شده است؛ مثلاً پستانداران واجد مو هستند و مو برای پستانداران آپومورفیک است. اگر این صفت در یک زیرگروه به‌طور ثانویه (در اینجا مو) ناپدید شود، این تغییر ثانویه خود به منزلهٔ یک آپومورفی جدید خواهد بود و تعیین اینکه فقدان صفتی مثل مو در یک گروه (مثلاً نهنگ‌ها و دلفین‌ها) آپومورفیک است یا پلزیومورفیک، بستگی به جایگاه این گروه در درخت فیلوژنتیک دارد. اگر گروهی که فاقد یک صفت آپومورفیک تاکسون بزرگ‌تر است، در رابطهٔ خواهری با چند گروه دیگر باشد که همگی واجد آن صفت باشند (مثل وضعیت نهنگ‌ها و دلفین‌ها که با اسب‌های آبی و نشخوارکنندگان رابطهٔ خواهری دارند) می‌توانیم نتیجه بگیریم که صفت مورد نظر در این گروه به‌صورت نیایی وجود داشته و به‌صورت آپومورفیک مجدداً ناپدید شده است. اما اگر این گروه در بن درخت فیلوژنتیک تاکسون بزرگ‌تر جای بگیرد (مثلاً پستانداران تخم‌گذار که فاقد آپومورفی مشهور پستانداران یعنی صفت زنده‌زایی هستند) نتیجه می‌گیریم که این وضعیت پلزیومورفیک است و آپومورفی مورد نظر (در اینجا صفت زنده‌زا بودن) در نیای مشترک بقیهٔ اعضای تاکسون پستانداران (یعنی نیای مشترک پستانداران جفت‌دار و کیسه‌داران) پیدا شده است.

تقابل گراد و کلاد

گفتیم که در رده‌بندی تکاملی هر تاکسون می‌تواند در جایی به پایان راه برسد و بی آنکه نسلش منقطع شود، به تاکسونی هم‌ارز و جدید تبدیل شود، طوری که اخلاف جدید، ماهیت تاکسون ابتدایی را از دست بدهند، درست همان‌طور که در رده‌بندی تکاملی، پرندگان از خزندگان مشتق شده‌اند ولی دیگر خزنده محسوب نمی‌شوند. این نگرش به آن علت است که خزندگان در رده‌بندی تکاملی دارای صفاتی بوده و هستند که در پرندگان یافت نمی‌شوند؛ صفاتی از قبیل خون‌سرد بودن و خزیدن روی زمین. جانوری که خون‌سرد نباشد و روی زمین نخزد، خزنده نیست. این توضیح دقیقاً مفهوم گراد[16] در رده‌بندی تکاملی را روشن می‌کند. گراد یک مرحله یا دورهٔ تکاملی است. خزندگان یک گراد محسوب می‌شوند که از نقطه‌ای آغاز شدند (جایی که دوزیستان روی خشکی تخم گذاشتند و پوستشان ناتراوا شد) و به نقطه‌ای دیگر ختم می‌شوند (جایی که خزندگان به پستانداران یا پرندگان تکامل یافتند و دیگر خزنده محسوب نمی‌شدند). می‌توان گفت هر گراد خود حدواسط گراد نیایی و گرادهای بعدی است که از دل آن تکامل می‌یابند. دوزیستان نیز یک گراد دیگر است که حد واسط ماهی‌ها و خزندگان است.

اما اشکال بزرگ گرادها در اینجا بود که انتخاب نقطهٔ آغاز و پایان آن‌ها تا حد زیادی به معیارهای نسبی و سلیقه‌ای بستگی داشت. اینکه نقطهٔ پایان خزندگان موجودی باشد که هنوز مثل خزندگان دمی بلند و دندان‌هایی در دهان دارد و فاقد منقار است، اگر *آرکیوپتریکس* در سدهٔ نوزدهم کشف نمی‌شد، طور دیگری رقم می‌خورد. مثلاً ممکن بود دانشمندان این پرنده- خزندهٔ باستانی را صرفاً یک خزنده پردار تلقی کنند و پرندگان را از نقطه‌ای دیگر آغاز کنند. این تناقض به ویژه

وقتی خودنمایی می‌کند که تعداد این نمونه‌های حد واسط خیلی زیاد شوند و اختلاف نظر زیست‌شناسان بر سر موقعیت آن‌ها زیاد شود.

در رده‌بندی فیلوژنتیک مسئله به‌صورت دیگری کاملاً حل و فصل می‌شود. در این نگاه، گرادها به این علت که با صفات پلزیومورفیک شناخته می‌شوند، گروه‌هایی غیرقابل استناد و موهوم در نظر گرفته می‌شوند. در عوض با قید این شرط اولیه که هر گروهی از موجودات زنده فقط بر اساس صفات آپومورفیک شناسایی می‌شود، با مفهوم دیگری روبه‌رو می‌شویم به نام کلاد[۱۷]. برخلاف گراد که می‌توانست جایی به پایان خط برسد و گراد دیگری آغاز شود، کلادها وقتی از نسل یک نیای مشترک شروع می‌شوند، هرگز پایان نمی‌یابند.

کلاد دقیقاً به معنی یک نیای مشترک و همهٔ زاده‌ها و نسل‌ها و گونه‌های بعدی است که از نسل آن نیای مشترک تکامل یافته‌اند. این اخلاف بعدی، همگی دارای صفت‌های مشترکی هستند که از نیای مشترک خود به ارث برده‌اند (آپومورفی) و می‌توان کل یک کلاد را با آپومورفی‌هایی که در نیای مشترکش ظاهر شده و به بقیه به ارث رسیده مشخص کرد[۱۸]. برای مثال سیناپومورفی‌های پرندگان شامل وجود پر، قلب چهارحفره‌ای، منقار بی‌دندان و تعدادی صفات آناتومیک و مولکولی دیگر می‌شود.

در مقابل سیناپومورفی، یک واژه سیم‌پلزیومورفی[۱۹] نیز ساخته شده که طرفداران رده‌بندی فیلوژنتیک از آن برای شرح صفت‌های پلزیومورفیک شاخص گرادهای قدیمی استفاده می‌کنند؛ برای مثال می‌گویند سیم‌پلزیومورفی‌های خزندگان شامل خون‌سرد بودن و خزیدن روی زمین می‌شود.

این‌که آرکیوپتریکس به عنوانِ سنگِ نشان آغاز ردهٔ پرندگان شناخته می‌شود، حاصل استنتاج شکاکانه علمی نیست، بلکه حاصل یک اتفاق است. به علاوه، این که آرکئوپتریکس «حد واسط» شناخته می‌شود به این دلیل است که در ذهن زیست‌شناسان یک «خزنده مثالی» و یک «پرنده مثالی» وجود دارد و آرکئوپتریکس شباهت‌هایی به هرکدام از آن‌ها دارد

گروه مونوفیلتیک در رده‌بندی فیلوژنتیک و تکاملی

بیشترین تباین تفکر گرادی و کلادی در جایی مشخص می‌شود که پای درستی یا نادرستی رده‌بندی‌ها به میان می‌آید. در تفکر گرادی یا همان رده‌بندی تکاملی، گراد معتبر است و زیست‌شناسان اجازه دارند تاکسون‌هایی تعریف کنند که شامل برخی از گونه‌های تکامل‌یافته از نیای مشترک آن تاکسون نباشد. برای مثال خزندگان شامل پرندگان نمی‌شوند، هرچند برای همهٔ زیست‌شناسانی که از تفکر گرادی پیروی می‌کردند مشخص بود که پرندگان از نسل خزندگان هستند. در مقابل پیروان تفکر کلادی یا همان رده‌بندی فیلوژنتیک معتقدند وقتی یک گروه از جانداران از نیای مشترکی تکامل یافتند، باید با یکدیگر در یک گروه قرار بگیرند. بنابراین چون می‌دانند پرندگان از نسل خزندگان هستند، به سادگی و بدون هیچ مشکلی پرندگان را یک زیرگروه دیگر از خزندگان می‌دانند.

اگر بخواهیم به‌صورت مدون تفاوت در اعتبار و عدم اعتبار انواع تاکسون‌ها در تفکر گرادی و کلادی مقایسه کنیم، می‌توانیم به سادگی با استفاده از اصطلاحات فنی وضع شده در این مورد، این مقایسه را کامل کنیم.

نام‌گذاری‌ها در دو رده‌بندی فیلوژنتیک و تکاملی اندکی با یکدیگر تفاوت دارند و نباید این نام‌ها را در بافتارهای مختلف با یکدیگر اشتباه گرفت. پیش از مطالعهٔ جدول این توضیح نیز ضروری است که گروه‌های مونوفیلتیک (در تفکر کلادی) و هولوفیلتیک (در تفکر گرادی) دقیقاً همان معنای کلاد را می‌رسانند و گروه‌های پارافیلتیک (در تفکر کلادی) و مونوفیلتیک (در تفکر گرادی) همان معنای گراد را. گروه پلی‌فیلتیک نیز در هر دو تفکر مردود و حاصل اشتباه دانشمند زیست‌شناسی تلقی می‌شود که چنین گروهی تعریف و شناسایی کرده باشد.

اقسام گروه‌های مونوفیلتیک در رده‌بندی فیلوژنتیک

با وجود آنکه گروه‌های مونوفیلتیک همگی بر اساس تعریفی مشخص، شامل یک نیای مشترک و همهٔ موجودات تکامل‌یافته از آن نیای مشترک می‌شوند، می‌توان هر گروه مونوفیلتیک را به سه شیوهٔ مختلف توصیف کرد.

معمول‌ترین شیوهٔ توصیف یک گروه مونوفیلتیک، توصیف گره‌ای است. در این تعریف دو تاکسون مختلف الف و ب به‌عنوان سنگ نشانهٔ

جدول ۱ – مقایسهٔ اقسام تاکسون‌ها بر اساس نیاکان مشترک و اعتبار آن‌ها در دو نگاه گرادی و کلادی.

تعریف	رده‌بندی تکاملی		رده‌بندی فیلوژنتیک	
	نام	اعتبار	نام	اعتبار
یک نیای مشترک با تمام گونه‌های تکامل‌یافته از آن	هولوفیلتیک[۲۰]	✓	مونوفیلتیک[۲۱]	✓
یک نیای مشترک بدون برخی گونه‌های تکامل‌یافته از آن	مونوفیلتیک	✓	پارافیلتیک[۲۲]	×
چند نیای غیرمشترک با گونه‌هایی که از آن‌ها تکامل یافته و به هم شباهت یافته‌اند	پلی‌فیلتیک[۲۳]	×	پلی‌فیلتیک	×

تعریف تاکسون مونوفیلتیک در نظر گرفته می‌شوند و گروه مورد نظر به این‌گونه تعریف می‌شود: جدیدترین نیای مشترک الف و بـ و همهٔ موجوداتی که از آن مشتق شده‌اند. برای مثال، تاکسون پرندگان به این صورت تعریف می‌شود: جدیدترین نیـای مشـترک *آرکیوپتریکس* و پرندگان امروزی و همهٔ موجوداتی که از آن مشتق شده‌اند.

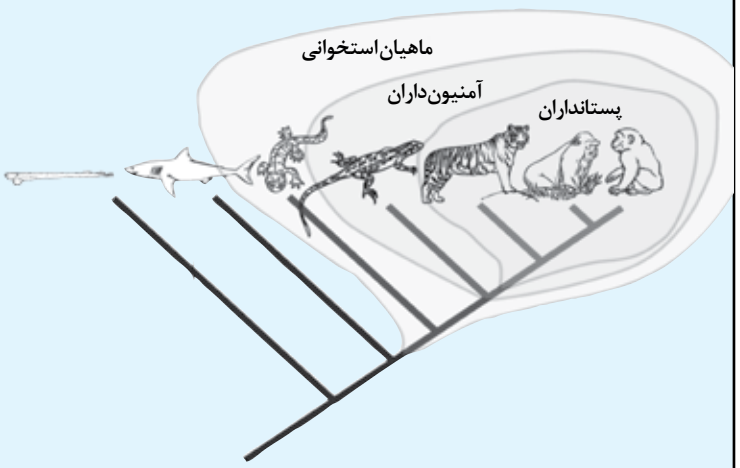
یـک شـیوهٔ توصیـف دیگر تاکسون‌های مونوفیلتیک، توصیف ریشـه‌ای اسـت. در ایـن تعریف نیـز دو تاکسـون مختلـف الف و بـ به‌عنوان سـنگ نشـانهٔ تعریف تاکسـون مونوفیلتیـک در نظـر گرفته می‌شـوند و گروه مورد نظر به اینگونه تعریف می‌شـود: همهٔ موجوداتی که بیش از الف به بـ نزدیک باشـند. برای مثال تاکسـون آویال‌ها[۲۴] این‌گونه تعریف می‌شود: همه موجوداتی که بیش از خانواده درومیوسوریدها[۲۵] به پرندگان امروزی نزدیک باشند.[۲۶]

نکتهٔ جالب اینجاسـت که با این دو نوع تعریف می‌توان همیشه جایی برای تاکسون‌های تازه کشف شدهٔ احتمالی در نظر گرفت. برای مثال گروه‌هایی فرضی از دایناسورها (که شاید درآینده کشف شوند) در صورتی که بیش از دروموسوریدها به پرندگان امروزی نزدیک باشند (منظور جایگاه‌شـان دردرخت فیلوژنتیک یا کلادوگرام اسـت)،جزء آویال‌ها محسـوب می‌شوند، ولی تنها آن‌هایی جزء پرندگان هستند که از *آرکیوپتریکـس* به پرندگان امروزی نزدیک‌تر باشـند. بنابراین ممکـن اسـت گروه‌هایـی عضو آویال‌ها باشند ولی عضو پرندگان نباشـند. از ایـن جالب‌تر هنگامی اسـت که آنالیزهـای فیلوژنتیک جدیدتـر نشـان می‌دهـد خـودِ دروموسـوریدها از *آرکیوپتریکس* به پرندگان نزدیک‌تر هسـتند. به این ترتیـب پرندگان –که تاکنون زیرگروه آویال‌ها بود- ناگهان بزرگ‌تر و فراگیرتر از آویال‌ها می‌شـود و در این صورت برخی نمونه‌ها از جمله *آرکیوپتریکس* جزء پرندگان خواهند بود، ولی جزء آویال‌ها نخواهند شد.

در رده‌بندی فیلوژنتیک نمی‌توان – و نباید- موجودی همچون آرکیوپتریکس را که فاقد برخی صفات مشترک پرندگان امروزی اسـت، یک نمونهٔ حدا واسط، یا حتی یک نمونهٔ «تکامل‌نیافته» بدانیـم. نردبانی تکاملی که در رده‌بندی تکاملی همیشه به سوی تعالی انسان‌گونه پیش می‌رفت، در رده‌بندی فیلوژنتیک بی‌معناست

سـومین شـیوهٔ توصیف گروه‌هـای مونوفیلتیـک، توصیف بر مبنای آپومورفی اسـت. در این شـیوه بزرگ‌ترین تاکسونی که همه

شـکل۲. انواع گروه‌های مونوفیلتیک؛ برخلاف رده‌بندی سـنتی که مهره‌داران به پنج گروه ماهی‌ها، دوزیستان، خزندگان، پرندگان، پستانداران تقسیم می‌شدند، در رده‌بندی فیلوژنتیک مهره‌داران به گروه‌های تو در تو تقسـیم می‌شـوند. پرندگان داخل خزندگان قرار می‌گیرند و پسـتانداران و خزندگان در کنار یکدیگر داخل گروهی بزرگ‌تر به نام آمنیون‌داران (که دارای پرده‌های جنینی به‌ویژه پرده آمنیوتیک هسـتند که نقش استخری اختصاصی برای رشد جنین را بازی می‌کند). کل مهره‌داران خشکی‌زی، اعم از پسـتانداران و خزندگان و دوزیستان، به اضافه ماهی‌هایی که دارای اسـکلت استخوانی هستند در گروهی بزرگ به نام ماهیان استخوانی رده‌بندی می‌شوند. به این ترتیب یک پرنده در عین حال که پرنده است، یک خزنده هم هست و در عین حال ماهی هم هست! همه این گروه‌ها مونوفیلتیک و معتبر هستند. گروه‌های مونوفیلتیک به سه حالت تعریف می‌شوند: گروه مونوفیلتیک گره‌ای: برای مثال جدیدترین نیای مشترک خزندگان و پستانداران و همه آن‌هایی که از این نیای مشترک تکامل یافته‌اند، جزء آمنیون‌داران محسوب می‌شوند. بنابراین موجوداتی که سنگواره آن‌ها نشان می‌دهد بیش از دوزیستان به آمنیون‌داران امروزی شـباهت دارند، جـزء آمنیون‌داران قرار نمی‌گیرند. گروه مونوفیلتیک ریشـه‌ای: برای مثال همهٔ مهره‌دارانـی کـه از کوسـه‌ماهی به مهره‌داران خشـکی‌زی نزدیک‌تر باشند، جزء ماهیان استخوانی هستند. بنابراین ماهیانی مثل ماهیان خاویاری که بیشتر به ماهیان استخوانی شبیه‌اند تا به ماهیان غضروفی، جزء ماهیان استخوانی قرار می‌گیرند. گروه مونوفیلتیک آپومورفیک: برای مثال همه آمنیون‌دارانی که بیش از مارمولک به پستانداران امروزی نزدیک باشند و در عین حال دارای غدد شیری باشند، جزء پستانداران محسوب می‌شوند، بنابراین آمنیون‌داران سنگواره‌شده‌ای که آناتومی آن‌ها بیش از خزندگان به پستانداران شبیه باشد، ولی فاقد غدد شیری باشند، جزء پستانداران محسوب نمی‌شوند (بلکه جزء گروهی بزرگ‌تر از پستانداران ولی کوچکتر از آمنیون‌داران قرار می‌گیرند که امروزه به جز پستانداران نمایندهٔ زندهٔ دیگری ندارد).



اعضایش واجد یک آپومورفی باشند، یک گروه مونوفیلتیک بر مبنای آن آپومورفی خواهند بود. برای مثال پرندگان دم‌کوتاه[۲۷] گروهی از پرندگان‌اند که همگی دارای دم کوتاه یا دنبالچه شده‌اند. این گروه زیرمجموعه پرندگان و آویال‌ها هستند، زیرا انواع ابتدایی پرندگان و آویال‌ها فاقد دنبالچه و در عوض دارای دم دراز هستند. در صورتی که گونهٔ جدیدی از پرندگان ابتدایی کشف شود که در درخت فیلوژنتیک در موقعیت خواهری اعضای کنونی پرندگان دم‌کوتاه قرار بگیرد، این گروه بسط داده خواهد شد تا شامل گونهٔ تازه نیز بشود[۲۸].

همان‌طور که خون‌سرد بودن دلیل نمی‌شود که مارمولک، سمندر و مارماهی در یک گروه قرار بگیرند، دلیلی هم وجود ندارد که صفت مشترک خزندگانی مثل مار، مارمولک و لاک‌پشت، خون‌سرد بودن آن‌ها تلقی شود

چگونه می‌توان یک گروه پارافیلتیک را تشخیص داد؟

در تاریخ زیست‌شناسی معاصر خیلی از گروه‌ها به‌طور سنتی مورد بحث و بررسی زیست‌شناسان قرار گرفته‌اند، در حالی که این گروه‌ها امروزه به‌عنوان گروه‌های پارافیلتیک شناخته می‌شوند و فاقد اعتبار علمی محسوب می‌شوند. برخی از مهم‌ترین این گروه‌ها که در نوشته‌های زیست‌شناسان فراوان به آن‌ها اشاره شده است، عبارت‌اند از پروکاریوت‌ها، آغازیان، اسفنج‌ها، جانوران دارای تقارن شعاعی، بی‌مهرگان، ماهی‌ها و خزندگان.

سه راه برای اینکه متوجه شویم یک گروه پارافیلتیک است یا نه، وجود دارد. نخستین راه این است که به صفات مشخص‌کنندهٔ آن گروه نگاه کنیم. اگر مجموعهٔ صفات یک گروه همگی پلزیومورفیک باشد و هیچ صفت آپومورفیکی در میان نباشد، آن گروه پارافیلتیک است. به نوعی می‌توان ارتباطی محکم میان صفات پلزیومورفیک و گروه‌های پارافیلتیک برقرار کرد. برای مثال صفت مشترک ماهی‌ها نداشتن پا، خون‌سرد بودن و استفاده از آبشش برای تنفس است که همگی پلزیومورفیک هستند. یعنی تا بوده، موجودات زنده‌ای که نیاکان ماهی‌ها محسوب می‌شوند نیز پا نداشته‌اند، خون‌سرد بوده‌اند و برای تنفس از آب دریا اکسیژن می‌گرفته‌اند.

راه دوم برای تشخیص پارافیلتیک بودن یک گروه این است که متوجه شویم برخی از گونه‌هایی که از نسل نیای مشترک آن گروه تکامل یافته‌اند، جزء آن گروه محسوب نمی‌شوند. باز هم ماهی‌ها را مثال می‌زنیم. ماهی‌ها در حالی به‌عنوان یک گروه قلمداد می‌شدند که همه می‌دانستند مهره‌داران خشکی‌زی تتراپودها[۲۹] از نسل آن‌ها تکامل یافته‌اند.

سرانجام، سومین راه تشخیص پارافیلی یک گروه این است که متوجه شویم برخی زیرگروه‌های گروه مورد نظر ما، از نظر تکاملی خویشاوندی نزدیک‌تری با اعضای یک گروه دیگر دارند. باز هم اگر بخواهیم ماهی‌ها را مثال بزنیم می‌توانیم بگوییم ماهی‌های شش‌دار بیش از بقیه ماهی‌ها به مهره‌داران خشکی‌زی شباهت و خویشاوندی دارند، در مرحله بعد ماهی‌های استخوانی به مهره‌داران خشکی‌زی شباهت و خویشاوندی بیشتری دارند تا ماهیان غضروفی و سرانجام همهٔ این ماهی‌های آروارهدار (استخوانی و غضروفی) شباهت بیشتری با مهره‌داران خشکی‌زی دارند تا با ماهیان بی‌آرواره.

چگونه می‌توان یک گروه پلی‌فیلتیک را تشخیص داد؟

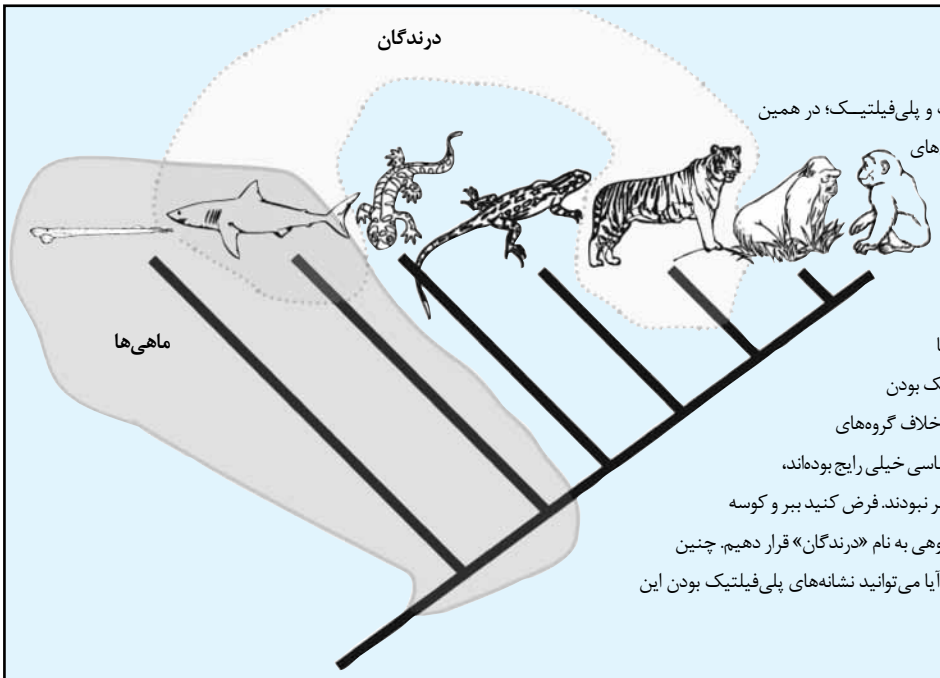
تشخیص گروه‌های پلی‌فیلتیک از گروه‌های پارافیلتیک نیز ساده‌تر است. به علاوه، در تاریخ زیست‌شناسی گروه‌های کمی بوده‌اند که بعداً مشخص شده پلی‌فیلتیک بوده‌اند. شاید به‌عنوان یک مثال معروف بد نباشد به گروه «مهره‌داران خون‌گرم[۳۰]» اشاره کنیم که شامل پستانداران و پرندگان می‌شود.

برای تشخیص پلی‌فیلی یک گروه کافی است متوجه شویم صفات مشخص‌کنندهٔ آن گروه هومولوگ[۳۱] نیستند، بلکه به‌صورت همگرا تکامل یافته‌اند و به عبارت دیگر آنالوگ[۳۲] هستند. برای مثال می‌دانیم فرایند خون‌گرم شدن و نوع متابولیسم پرندگان و پستانداران تفاوت دارد و هومولوگ نیست. بیان ساده دیگری که می‌توان برای همین موضوع به کار برد این است که گروه‌های پلی‌فیلتیک فاقد نیای مشترک مشخصی هستند که واجد صفات مشترک اعضای گروه باشد. دقیقاً به همین دلیل هم نتیجه می‌گیریم صفات مشترک آن‌ها هومولوگ نیستند، زیرا از نیای مشترک تکامل نیافته‌اند.

سرنوشت گرادهایی که در رده‌بندی فیلوژنتیک دیگر اعتبار ندارند

عمدهٔ گروه‌های پارافیلتیک یا همان گرادها، امروزه تنها به‌عنوان عبارت‌هایی تاریخی به‌صورت نامی غیررسمی به کار می‌روند که اغلب در میان دو نشانهٔ گفتاورد(" و ") یا گیومه («و») نقل می‌شوند. برخی از این گروه‌ها اکنون کاملاً نامعتبر هستند، از جمله «بی‌مهرگان»، «آغازیان»، «ماهی‌ها» و «اسفنج‌ها».

برخی دیگر از این گروه‌ها نیز تغییر محتوی داده‌اند و به‌صورت گروه‌هایی فراگیرتر و مونوفیلتیک درآمده‌اند، برای مثال خزندگان شامل پرندگان نیز می‌شوند و سخت‌پوستان نیز شامل حشرات. سرانجام با کمال تعجب برخی از این گروه‌ها نیز امروزه بدون تغییری در محتوای تاکسون‌هایشان، به‌صورت گروه مونوفیلتیک پذیرفته شده‌اند. برای مثال دوزیستان، گرچه به‌طور سنتی گرادی حد واسط ماهی‌ها و خزندگان در نظر گرفته می‌شد، اما به دلیل وجود برخی صفات آپومورفیک (برای مثال دندان‌هایی با تاج دوگانه) به‌عنوان یک گروه مونوفیلتیک در نظر گرفته می‌شوند. بدیهی است طبق این رده‌بندی نیای مشترک دوزیستان امروزی[۳۳] نیای هیچ کدام از مهره‌داران خشکی‌زی دیگر اعم از خزندگان و پستانداران نبوده است. یکی دیگر از این گروه‌ها پروتوستوم‌ها[۳۴] هستند که تصور می‌شد رده‌بندی‌های مولکولی نشان دهد پارافیلتیک هستند، چون صفت



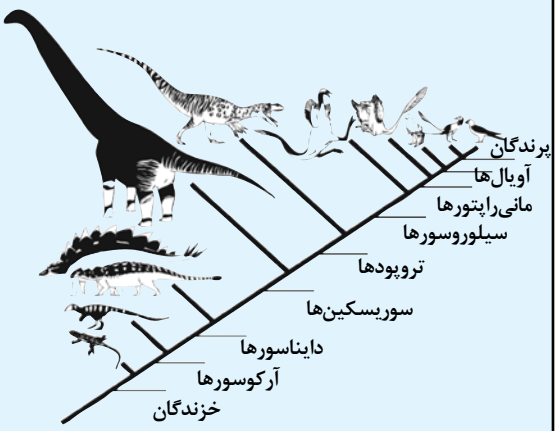
شـکل۳. گروه‌هـای پارافیلتیک و پلی‌فیلتیـک؛ در همین کلادوگرام، اگر طبـق رده‌بندی‌های سنتی، مارماهی و کوسه‌ماهی را در گروهی به نام «ماهی‌ها» قـرار دهیـم، یـک گـروه پارافیلتیـک (و در نتیجـه نامعتبـر) خواهیـم داشـت. آیا می‌توانیـد نشـانه‌های پارافیلتیک بودن این گروه را تشـخیص دهید؟ برخلاف گروه‌های پارافیلتیک که در تاریخ زیست‌شناسی خیلی رایج بوده‌اند، گروه‌های پلی‌فیلتیک هرگز معتبر نبودند. فرض کنید ببر و کوسه را به‌عنوان دو جانور درنده، در گروهی به نام «درندگان» قرار دهیم. چنین گروهی پلی‌فیلتیک خواهد بود. آیا می‌توانید نشانه‌های پلی‌فیلتیک بودن این گروه را تشخیص دهید؟

آپومورفیک چندان محکمی ندارند، اما بر اسـاس مطالعات مولکولی مونوفیلتیک هستند و سر جای خود باقی می‌مانند.

رده‌بندی فیلوژنتیک مصداق علم تجربی

از خلال مثال‌هایی که زده شد می‌توان متوجه شد چرا رده‌بندی فیلوژنتیک بیشـتر از مکاتب پیشین رده‌بندی به مفهوم علم تجربی نزدیک شـده اسـت. حذف معیارها و قیاس‌های سـلیقه‌ای یکی از مهم‌ترین دلایل این موضوع است. در رده‌بندی تکاملی در صورتی که دو زیست‌شناس بر سر رده‌بندی گروهی با یکدیگر اختلاف می‌یافتند، امـکان قضاوت و داوری علمی میان گفته‌های آن‌ها وجود نداشـت، چون معیارها و سـنجه‌های آن‌هـا برای گزینش مبنـای رده‌بندی غیرقابـل نقد، ابطال‌ناپذیر و ذهنی بود. امـا در رده‌بندی فیلوژنتیک با اضافه‌شـدن شواهد جدیدتر به دانش زیست‌شناسی، شکل درخت فیلوژنتیـک و رده‌بندی به راحتی تغییر می‌کند. به علاوه در صورتی

ماهی‌های استخوانی به مهره‌داران خشکی‌زی شباهت و خویشـاوندی بیشـتری دارند تا ماهیان غضروفی و سـرانجام همهٔ این ماهی‌های آرواره‌دار (اسـتخوانی و غضروفی) شباهت بیشـتری با مهره‌داران خشکی‌زی دارند تا با ماهیان بی‌آرواره



شـکل۴. پرندگان در دل خزندگان؛ اینکه پرندگان جزء خزندگان هستند، نه تعارف اسـت، نه استعاره. پرندگان، همچون مارمولک‌ها، مارها، کروکودیل‌ها و لاک‌پشـت‌ها خزنده‌اند و هرچه‌قدر تکامل آن‌هـا را تغییر دهد، باز هم خزنده خواهند بود. در این تصویر جایگاه پرندگان در میان خزندگان را می‌بینید.

برخی از سیناپومورفی‌های گروه‌های تو در توی خزندگان که شامل پرندگان نیز می‌شوند از این قرارند: خزندگان همگی دارای پوششی از فلس روی بدن خود هستند و جمجمه آن‌ها با کمک یک برجستگی پس‌سری به ستون مهره‌ها متصل می‌شود، قلب‌های آن‌ها دارای دیواره میان دو بطن است که ممکن است کامل یا ناقص باشد. گروهی از خزندگان به نام آرکوسورها (که شامل کروکودیل‌ها نیز می‌شوند) دارای قلب چهارحفره‌ای کامل هستند، تخم‌هایی با پوسته آهکی می‌گذارند، می‌توانند با حنجره خود صدا ایجاد کنند و از بچه‌های خود مراقبت می‌کنند؛ بسیاری از آرکوسورها حتی گروه‌هایی از کروکودیل‌های باستانی روی دوپا راه می‌رفتند. گروهی از آرکوسورها به نام دایناسورها دارای تعداد بیشتری مهره‌های لگنی شده‌اند تا بتوانند هنگام راه‌رفتن روی دو پا تعادل خود را بهتر حفظ کنند، گردن‌های درازتری دارند و پاهایشان کاملاً در زیر بدنشان قرار دارد، به علاوه روی بدن همه دایناسورها با پوششی کرک‌مانند شبیه پر جوجه پرندگان امروزی پوشیده شد. گروهی از دایناسورها به نام سوریسکین‌ها دارای دستگاه تنفس پیچیده‌ای هستند، طوری که کیسه‌هایی هوایی از شش‌های آن‌ها به داخل شکم، سینه، گردن و بازوها کشیده شده است، این کیسه‌های هوایی باعث شدند چگالی (جرم حجمی) بدن این دایناسورها کمتر شود و بتوانند بدون اینکه خیلی سنگین‌وزن شوند، به اندازه‌های بزرگی برسند، یا به‌خاطر بدن سبکشان به‌سرعت بدوند و در هوا بجهند. گروهی از سوریسکین‌ها به نام تروپودها، دارای مغز بزرگ، دستانی با قابلیت تحرک زیاد و مفاصلی با آزادی حرکت بالا (جهت چنگ‌زدن یا پروازکردن) و پاهایی چهارانگشتی (یک انگشت عقب، سه انگشت جلو) شدند، استخوان‌های ترقوه آن‌ها به هم چسبید تا ساختاری بسازد که امروزه مردم به اشتباه وقتی آن را در اسکلت پرندگان می‌بینند به آن جناغ می‌گویند (جناغ حقیقی پرندگان استخوان بزرگ سینه آن‌هاست). گروهی از تروپودها به نام سیلوروسورها دارای شاه‌پرهایی روی دست‌ها و دم‌هایشان شدند، به علاوه مغز آن‌ها باز هم بزرگ‌تر شد و تعداد مهره‌های لگنی آن‌ها بیشتر از بقیه دایناسورها شد تا تعادلشان موقع دویدن بهتر حفظ شود. گروهی از سیلوروسورها به نام مانی‌راپتورها دارای دستانی بلندتر شدند که با آن‌ها می‌توانستند شکارشان را در هوا بگیرند. گروهی از مانی‌راپتورها به نام آویال‌ها اندازه‌ای کوچک‌تر یافتند و به بالای درختان رفتند و با دست‌ها و شاه‌پرهای بلندشان میان شاخه‌ها شروع به پرواز کردند. گروهی از آویال‌ها به نام پرندگان به علت تغذیه از دانه‌ها و حشرات، دندان‌های گوشتخواری خود را از دست دادند و دندان‌های کوچک‌تری پیدا کردند. انگشت اول پای آن‌ها کاملاً به عقب برگشت تا بهتر بتوانند روی درختان بنشینند و به علت ترک شکارگری، پیاز بویایی مغز آن‌ها تحلیل رفت. سرانجام گروهی از پرندگان دندان‌های خود را از دست دادند، انگشت‌های دست‌شان به هم جوش خورد تا بالی یک‌دست بسازد و با بزرگ‌شدن استخوان جناغ به شکل امروزی آن (استخوان بزرگ و تیغه‌دار سینه) که ماهیچه‌های پروازی قوی به آن متصل است، توانایی پرواز آن‌ها کامل شد. این‌ها پرندگان امروزی هستند و با وجود همهٔ ویژگی‌های جدیدی که دارند، هنوز ویژگی‌های تک‌تک گروه‌های بزرگ‌تر (از خزندگان تا آویال‌ها) را همراه خود دارند.

کلاد دقیقاً به معنی یک نیای مشترک و همهٔ زاده‌ها و نسل‌ها و گونه‌های بعدی است که از نسل آن نیای مشترک تکامل یافته‌اند. این اخلاف بعدی، همگی دارای صفت‌های مشترکی هستند که از نیای مشترک خود به ارث برده‌اند (آپومورفی) و می‌توان کل یک کلاد را با آپومورفی‌هایی که در نیای مشترکش ظاهر شده و به بقیه به ارث رسیده مشخص کرد

که زیست‌شناسی نسبت به رده‌بندی زیست‌شناس دیگر نقدی داشته باشد، می‌تواند نقد خود را مستقیماً متوجه شیوهٔ انجام آنالیز فیلوژنتیک و الگوریتم‌های مورد استفاده، یا صفات مورد استفاده برای آنالیزهای فیلوژنتیک بکند. به این ترتیب رده‌بندی‌های موجودات زندهٔ

در تاریخ زیست‌شناسی معاصر خیلی از گروه‌ها به طور سنتی مورد بحث و بررسی زیست‌شناسان قرار گرفته‌اند، در حالی که این گروه‌ها امروزه به عنوان گروه‌های پارافیلتیک شناخته می‌شوند و فاقد اعتبار علمی محسوب می‌شوند

دیگر یک سنت به‌جا مانده از نسل‌های پیشین نیست، بلکه خود به مثابه یک نظریهٔ علمی درآمده و دقیقاً مختصات یک نظریه علمی را نیز دارا شده است، یعنی ابطال‌پذیر، قابل نقد و منطبق بر شواهد و مدارک عینی است.

پی‌نوشت‌ها

۱. یکی از شرایط تعریف علم تجربی این است که همهٔ دستاوردهایش ابطال‌پذیر و موقتی باشند. یعنی علم حق ندارد ادعای کشف حقیقت نهایی داشته باشد و باید همیشه در برابر تغییر و نقد سر فرو بیاورد. بنابراین رده‌بندی نمی‌تواند به یک نقشهٔ راه قطعی و همیشگی کاسته شود، بلکه باید روشی برای تغییر مداوم و روزآمد شدن آن وجود داشته باشد.

2 . Willi Hennig

3. Die Stellung der Systematik in der Zoologie

۴. برای آشنایی بیشتر با مفهوم کلادیستیک به فصل نخست این کتاب بنگرید:
Wiley, E.O.; Siegel-Causey, D.; Brooks, D.R. & Funk, V.A. (1991), "Chapter 1 Introduction, terms and concepts", The Compleat Cladist: A Primer of Phylogenetic Procedures, The University of Kansas Museum of Natural History.
http://goo.gl/1xMlL

۵. یکی از نخستین مقالات در تبیین و دفاع از رده‌بندی فیلوژنتیک:
de Queiroz, K. & Gauthier, J. (1992), "Phylogenetic taxonomy", Annual Review of Ecology and Systematics 23: 449–480.
http://goo.gl/JQ3yf

6. Ernst Mayr

۷. درباره این جدل‌ها بنگرید به:
Benton, M. J. (2000), "Stems, nodes, crown clades, and rank-free

lists: is Linnaeus dead?", Biological Reviews 75 (4): 633–648, doi:10.1111/j.1469-185X.2000.tb00055.x.
http://goo.gl/7S5OI

۸. در اینجا داعیه مایر علیه رده‌بندی فیلوژنتیک

Mayr, Ernst (1974), "Cladistic analysis or cladistic classification?", Zeitschrift fűr Zoologische Systematik und Evolutionforschung 12: 94–128, doi:10.1111/j.1439-0469.1974.tb00160. x
http://goo.gl/NkTNE

و پاسخ هنیگ به او را بخوانید:

Hennig, Willi (1975), "'Cladistic analysis or cladistic classification?': a reply to Ernst Mayr", Systematic Zoology 24 (2): 244–256, doi:10.2307/2412765.
http://goo.gl/3ffCx

9. Systema Naturae per Regna Tria Naturae
10. empirical
11. *Archaeopteryx*
12. φυλή/ φυλον
13. γενετικός/ γένεσις
14. Apomorphy
15. Plesiomorphy
16. Grade
17. Clade

۱۸. سیناپومورفی: سین (Syn) + آپومورفی (Apomorphy)

19. Symplesiomorphy
20. Holophyletic
21. Monophyletic
22. Paraphyletic
23. Polyphyletic

۲۴. Avialae: گروهی شامل پرندگان (Aves) و چند نمونه سنگواره که جزء پرندگان نیستند ولی بسیار نزدیک به آن‌ها هستند.

۲۵. خانواده Dromaeosauridae، گروهی از دایناسورهای شکارچی بودند که در دورهٔ ژوراسیک ظاهر شدند و تا پایان دورهٔ کرتاسه در آسیا، اروپا، آمریکای شمالی و نیز خشکی‌های جنوبی زمین از جمله ماداگاسکار، آفریقا و آمریکای جنوبی پراکنده شدند. آن‌ها نزدیک‌ترین و شبیه‌ترین خویشاوندان پرندگان هستند. در فیلم پارک ژوراسیک، دایناسورهای میان‌قامتی به نام *Velociraptor* می‌بینیم که به صورت گروهی شکار می‌کنند و توانایی هوشی و خونخواری زیادی دارند. این موجودات یک نمونه از اعضای خانواده درومیوسوریدها هستند. البته بدن این موجودات مثل پرندگان کاملاً پوشیده از پر بود و دست‌ها و دم‌هایشان شاه‌پرهای بلندی شبیه شاه‌پرهای پرندگانِ امروزی داشت. تصویری که از آن‌ها در پارک ژوراسیک دیده می‌شود، امروزه کاملاً مردود است.

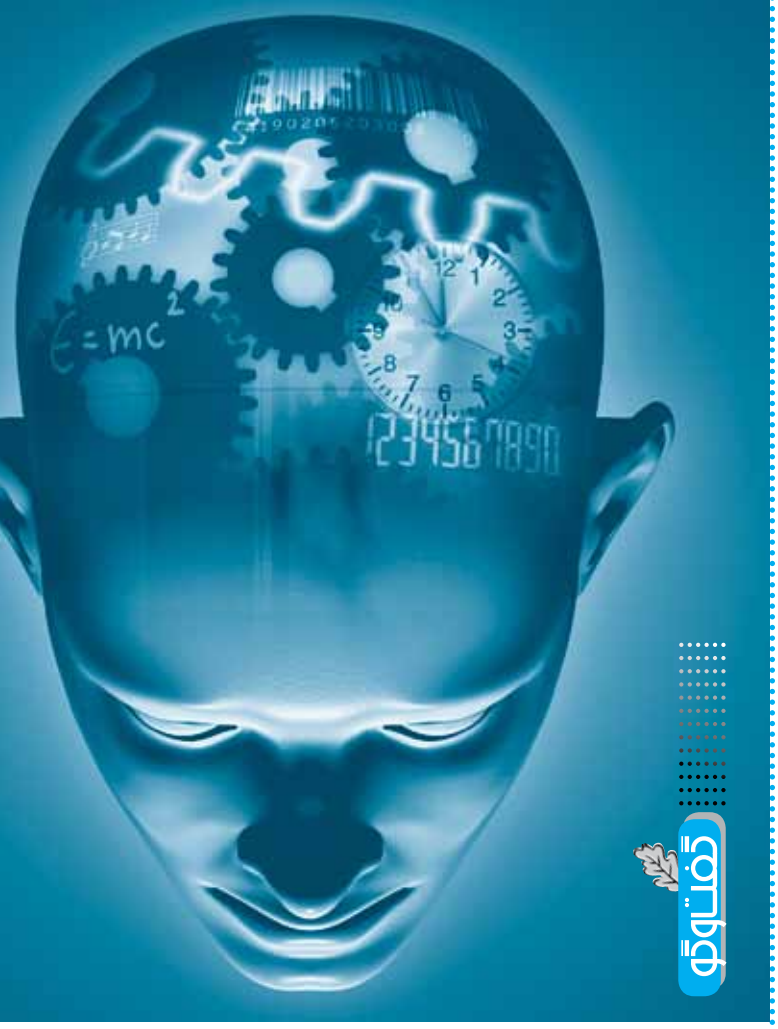
۲۶. یک توضیح درباره ذکر اسامی علمی در متن: اسامی علمی باید لزوماً به خط لاتین و با املای درست به صورت اسم خاص (یعنی با حرف نخست بزرگ) نوشته‌شوند. اما می‌توان به جای آن‌ها از اسامی غیررسمی (Vernacular) استفاده کرد. همان‌طور که می‌توان به جای نام *Panthera tigris* از نام غیر رسمی «ببر» یا نام غیر رسمی «Tiger» استفاده کرد. اما نباید این اسامی غیر رسمی در رقابت با اسامی رسمی از آن‌ها تقلید کنند. برای مثال در زبان انگلیسی Dromaeosauridae یک نام رسمی علمی است، اما dromaeosaurids یک نام غیررسمی است، بنابراین دومی را نباید با حرف بزرگ آغاز کرد تا با نام رسمی اشتباه گرفته نشود. در زبان فارسی نیز همه معادل‌های مورد استفاده (از جمله نام‌هایی چون پرندگان، پستانداران، خزندگان) نام‌های غیررسمی محسوب می‌شوند. نام خانواده‌ها را می‌توان به صورتی که در متن می‌بینید، یعنی مثلا «درومیوسوریدها» استفاده کرد و بهتر است از تلفظ نگاری نام رسمی (مثلا استفاده از درومیوسوریده) اجتناب کنیم.

۲۷. پرندگانی که دم در آن‌ها به دنبالچه یا Pygostyle تبدیل شده است. نام علمی این تاکسون Pygostylia است.

۲۸. در این مورد بنگرید به:

James, Frances C. & Pourtless IV, John A. (2009), Cladistics and the Origin of Birds: A Review and Two New Analyses, Ornithological Monographs, No. 66, American Ornithologists' Union.
http://goo.gl/CPjTv

29. Tetrapoda
30. Homeothermia
31. Homologue
32. Analogue
33. Lissamphibia
34. Protostomia



ترجمه: محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر

مغز شما در تاریخ هستی یگانه و بی‌همتاست

گفت‌وگو با جرالد موریس ادلمن پزشک و زیست‌شناس سلولی

کلیدواژه‌ها: خودآگاهی، داروینیسم عصبی، ابزار مبتنی بر مغز.