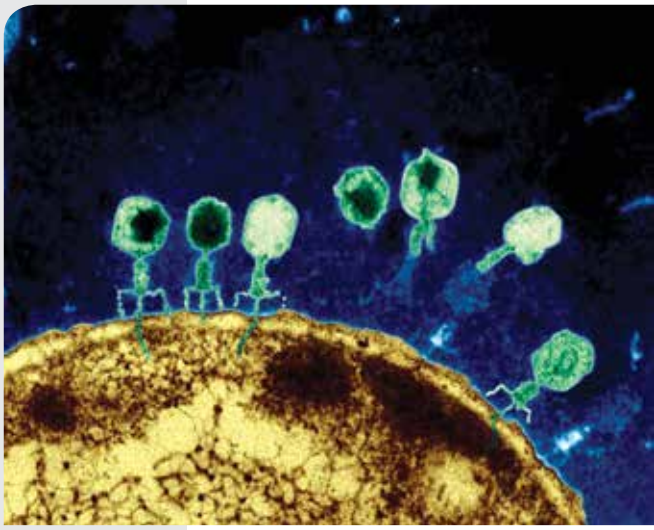
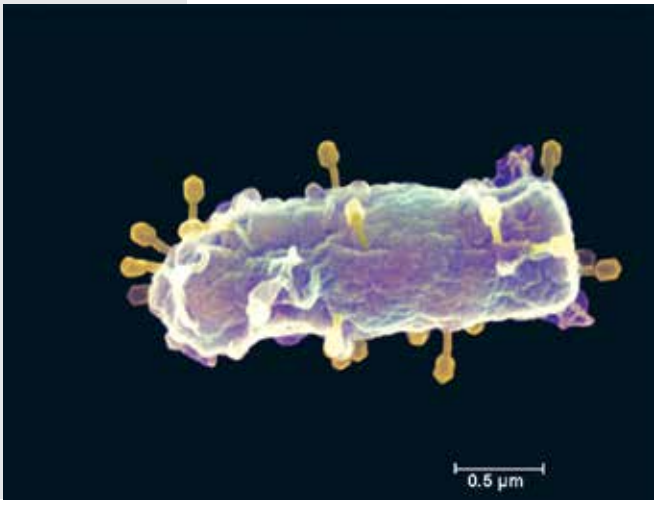
عدم قطعیت در آموزش زیست‌شناسی

دکتر عطا کالیراد
پژوهشکده علوم زیستی، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM)

مگر قلب چیزی جز یک فنر است و اعصاب شمار بسیاری فنر و مفاصل شماری چرخ که مطابق قصد صانع تمامی بدن را به حرکت در می‌آورند؟
توماس هابز ـ مقدمهٔ لِویاتان، ۱۶۵۱

اغلب پرسش‌های زیست‌شناختی که پاسخی مطلق دارند از پرسش‌های پیش‌پاافتاده‌ای هستند که امکان ارزشیابی دانش‌پژوهان را فراهم نمی‌آورند





طی مدت اندکی که درگیر تدریس مبحث تکامل و رفتارشناسی به دانش‌پژوهان پرشمار مرکز پرورش استعدادهای درخشان و طراحی پرسش برای مراحل مختلف المپیاد زیست‌شناسی کشوری و نیز المپیاد جهانی ۲۰۱۸ بوده‌ام، دگرباره با یکی از دشواری‌های آموزش مفاهیم زیست‌شناختی رُخ در رُخ شدم: پرسش‌ها را باید صرفاً به‌نسبت دشوار طرح کنیم تا توانایی افراد مختلف را در فهم مفاهیم زیست‌شناختی و حل مسائل مرتبط به این مفاهیم به نحوی بسنجند و میان توانایی این افراد تمایز قائل شوند. این امر به ظاهر آسان است؛ اما دستیابی به چنین هدفی گرچه در بدو امر آسان به‌نظر می‌آید، چندان آسان نیست.

وقت و سرمایه روانی و مادی‌ای که دانش‌پژوهان نوجوان و خانواده‌های آنان برای موفقیت می‌گذارند، به این معناست که پاسخ هر پرسش باید تا جای ممکن واضح باشد، به نحوی که امکان اعتراض را به حداقل برساند؛ اما تلاقی تلاش برای آموزش عمیق مفاهیم علوم زیستی و جست‌وجو در پی میزانی مطلق برای ارزشیابی دردسرساز می‌شود: اغلب پرسش‌های زیست‌شناختی که پاسخی مطلق دارند از پرسش‌های پیش‌پاافتاده‌ای هستند که امکان ارزشیابی دانش‌پژوهان را فراهم نمی‌آورند و پرسش‌های مبتنی بر مفاهیم عمیق‌تر لزوماً به پاسخ‌هایی مطلق نمی‌انجامند.

روابط ژنتیکی که در کتب درسی دورهٔ دبیرستان مورد بررسی قرار می‌گیرند، از اقسامی هستند که اجازهٔ استنباط‌های مطلق در خصوص اثر الل‌ها را می‌دهند: رابطهٔ غالب و مغلوبی در ساده‌ترین شکل آن، در جانداری دیپلوئید و در وجود تنها دو الل برای یک لوکوس، صرفاً ۳ ژنوتیپ و ۲ فنوتیپ ایجاد می‌کند. رابطهٔ هم‌توانی نیز صرفاً شمار فنوتیپ‌ها را از ۲ به ۳ می‌افزاید. همهٔ این روابط نیز به گونه‌ای ایستا توصیف می‌شوند: اللی که در کنار اللی دیگر بارز است، به ناگهان به الل مغلوب بدل نمی‌شود. اما وقتی مفهوم «اِپیستازی» را به دانش‌پژوه معرفی می‌کنیم و تعداد لوکوس‌ها را از ۲ به بی‌نهایت افزایش می‌دهیم، آنگاه در کرانه‌ای‌ترین حالت اثر هر الل می‌تواند تابعی از الل‌های موجود در دیگر لوکوس‌های آن ژنوم باشد.

با افزودن چنین پیچیدگی‌هایی، دیگر راست‌آزمایی گزاره‌ای چون «الل **الف** اللی سودمند است که تحت اثر انتخاب طبیعی در طی زمان در جمعیت **ب** تثبیت می‌شود» به خودیِ خود ممکن نیست. به رشته‌ای از پرسش‌ها نیاز است تا بتوان صحت چنین گزاره‌ای را سنجید: آیا شایستگی افراد در این جمعیت به‌صورت افزایشی یا اپیستاتیک مشخص می‌شود؟ اندازهٔ این جمعیت چقدر است؟ آیا جمعیت تحت‌تأثیر انتخاب وابسته به فراوانی است؟ چگونه می‌توان چنین گزاره‌ای

را به گزاره‌ای نسبتاً مطلق بدل کرد؟ یکی از راه‌های بدیهی، افزودن شروطی است که بتوان این گزاره را آشکارا سره یا ناسره کند: «الل **الف** اللی سودمند است. با فرض اثر انباشتی[1] الل‌ها و در جمعیتی که اندازهٔ مؤثر آن بیش ۱۰۸ باشد، الل **الف** به احتمال فراوان در این جمعیت تثبیت خواهد شد».

تبدیل گزاره با صحت نسبی به گزاره‌ای مطلق، با افزودن تعداد کافی از شروط، کاری سهل می‌نماید. چنین مطلق‌گرایی اما لزوماً در آموزش چگونگی عملکرد سازوکارهای سامانه‌های زیستی به صراط مستقیم نزدیک نیست. در بسیاری اوقات صحبت با دانش‌پژوهان جوان و حتی دانشجویان زیست‌شناسی مقاطع مختلف دانشگاهی، از جمله کارشناسی ارشد و دکترا، نقشی از موجودات زنده را در پردهٔ ذهن به تصویر می‌کشد که بی‌شباهت به باور توماس هابز نیست: فرایندهای زیستی در این تصویر چونان اهرم‌ها و فنرها و چرخ‌دنده‌های یک ساعت مکانیکی عمل می‌کنند و سامانه‌ای جبری می‌آفرینند که اساساً سنخیتی با سرشت تصادفی سامانه‌های زیستی ندارد. مراد از تصادفی بودن در اینجا «علل نامعلوم[2]» نیست، بلکه به معنای سرشت‌بختانهٔ سازوکار است. به عنوان مثال، علت‌های متنوع جهش‌زایی بر ما پوشیده نیست؛ اما این فرایند را به‌صورتی تصادفی با احتمال مشخص در نظر می‌گیریم[3].

تصاویری که دانش‌پژوهان در کتب درسی چه از نوع میهنی و چه فرنگی با آن‌ها برخورد می‌کنند سازوکارهایی نظام‌مند و بسامان را نشان می‌دهند که ظاهراً همواره وظیفهٔ زیستی خود را انجام می‌دهند.

در تجربهٔ اندک راقم این سطور، این تصور مکانیکی از موجودات زنده با آشنا ساختن دانش‌پژوهان با روش‌های شبیه‌سازی فرایندهای زیستی تا حدی از میان می‌رود. به عنوان مثال، مدل شبیه‌سازی فاژ لامبدا را در نظر گیرید: فاژ لامبدا پس از دچار کردن میزبان خود باید تصمیم بگیرد آیا می‌خواهد درون ژنوم میزبان خود جای گیرد (چرخهٔ لیزوژنی) یا میزبان را وادار به ساخت پروتئین‌های مورد نیاز برای ساخت کپسید کند و خود تکثیر شود (چرخهٔ لیتیک). تصور سازوکار جبری نمی‌تواند چگونگی «تصمیم‌گیری[4]» را بر ما هویدا کند؛ چراکه رفتار کلی فاژ بختانه نه جبری می‌نماید. برای شبیه‌سازی این فرایند می‌توان فرایندهای بیان ژن لیزوژنی و لیتیک و برهمکنش‌های تنظیمی آن‌ها را در قالب روش گیلسپی[5] تصور کرد؛ در این روش به هر واکنش، بر حسب تعداد واکنش‌گرهای موجود و ثابت آن، گرایشی[6] را به هر واکنش نسبت می‌دهیم و پس از محاسبهٔ این گرایش‌ها برای تمامی واکنش‌ها، متناسب با این گرایش و با تولید عددی تصادفی[7]، زمان انجام واکنش را محاسبه می‌کند. سپس هر واکنش به ترتیب کوتاه‌ترین زمان انجام آن به وقوع می‌پیوندد[8]. تصادفی بودن این شبیه‌سازی به نوعی تصمیم‌گیری می‌انجامد که برحسب تعداد مولکول‌های تنظیمی، گاه به سمت لیتیک و دیگرگاه به سمت لیزوژنی، اما همواره به‌صورت غیرجبری می‌رود.

توصیف چگونگی شبیه‌سازی واکنش‌های شیمیایی شاید یکی از بهترین توصیف‌ها از سرشت تصادفی فرایندهای درون یاخته باشد. در این توضیح، اهرم‌ها فشرده نمی‌شوند و چرخ‌دنده‌ها به یکدیگر گیر نمی‌کنند؛ مولکول‌ها بر حسب تعداد به یکدیگر برخورد می‌کنند و بر حسب زمانی که متناسب با تعداد این مولکول‌ها و ثابت واکنش است، به محصولات بدل می‌شوند. یکی از مهم‌ترین دستاوردهای زیست‌شناسی مدرن نشان دادن بی‌شباهتی مصنوعات تکامل به مصنوعات دستِ بشر بوده است. فهم سرشتِ بختانهٔ فرایندهای زیستی، دانش‌پژوهان را با زیبایی و جذبهٔ موجودات زنده بیشتر آشنا می‌کند. همان‌گونه که داروین در پاراگراف پایانی منشأ گونه‌ها می‌گوید، «عظمتی در این دیدگاه نهفته است».

تصاویری که دانش‌پژوهان در کتب درسی ـ چه از نوع میهنی و چه فرنگی ـ با آن‌ها برخورد می‌کنند سازوکارهایی نظام‌مند و بسامان را نشان می‌دهند که ظاهراً همواره وظیفهٔ زیستی خود را انجام می‌دهند

پی‌نوشت‌ها

1. additive
2. causes unknown

۳. برای تصور چگونگی بروز جهش به مثابه فرایندی تصادفی در یک جمعیت می‌توان چنین تصور کرد که هر فرد در طی همانندسازی ماده ژنتیکی خود تاسی ۱۰۷ (تخمینی برای نرخ جهش ژنومی) وجهی می‌ریزد و تنها در صورت آوردن وجهی خاص از این ۱۰۷وجه، ژنوم دچار جهش شود. با توجه به مستقل بودن جهش در هر فرد در این جمعیت از دیگر افراد، می‌توان این فرایند به‌صورت پوآسون شبیه‌سازی کرد.

۴. تصمیم‌گیری در معنای تصمیم‌گیری واحدی زنده که در طی تکامل، به دلیل اثرش بر شایستگی آن واحد، شکل‌گرفته ـ نه در معنای انسان‌ریختی آن.

5. Gillespie, Daniel T. (1977). «Exact Stochastic Simulation of Coupled Chemical Reactions». The Journal of Physical Chemistry. 81 (25): 2340-2361.

6. propensity

۷. در واقع، عددی شبه‌تصادفی (pseudo random)؛ رایانه‌های با الگوریتم‌هایی جبری این اعداد را می‌آفرینند اما آزمون‌های آماری از آشکار کردن سازوکار جبری که این اعداد را پدید آورد ناتوان‌اند و آنان را حقیقتاً تصادفی می‌پندارند.

۸. این تنها یکی از روش‌های کاربست الگوریتم گیلسپی است.