حیات چیست؟

پنج ایدهٔ بزرگ در زیست‌شناسی

پل نِرس

(برندهٔ جایزهٔ نوبل فیزیولوژی یا پزشکی ۲۰۰۱)

ترجمهٔ
کاوه فیض‌اللهی

فرهنگ نشرنو
با همکاری نشر آسیم

فهرست

دربارهٔ نویسنده / نه
یادداشت مترجم: حیات شکننده و سرسخت است / یازده

مقدمه / ۱
۱. سلول: اتم زیست‌شناسی / ۵
۲. ژن: آزمون زمان / ۱۵
۳. تکامل به‌وسیلهٔ انتخاب طبیعی: تصادف و ضرورت / ۳۹
۴. حیات همچون شیمی: نظم از دل آشوب / ۵۵
۵. حیات همچون اطلاعات: عمل کردن همچون کلِ واحد / ۸۱
تغییر جهان / ۱۰۹
حیات چیست؟ / ۱۲۹

نمایه / ۱۴۷

۱

سلول

اتم زیست‌شناسی

من نخستین سلول زندگی‌ام را وقتی مدرسه می‌رفتم دیدم، کمی پس از ملاقات با آن پروانهٔ زرد. ما در کلاسمان جوانهٔ پیاز داشتیم و ریشه‌هایش را زیر یک لام میکروسکوپی له کردیم تا ببینیم که از چه ساخته شده است. معلم زیست‌شناسی‌ام، کیت نیل[1]، که خیلی به ما انگیزه می‌داد، توضیح داد که اکنون سلول‌ها را خواهیم دید که واحد بنیادی حیات هستند. واقعاً هم آنجا بودند: ردیف‌های مرتب سلول‌های جعبه‌مانند که همه، در ستون‌های منظم، تنگِ هم چیده شده بودند. باورمان نمی‌شد که رشد و تقسیم آن سلول‌های کوچک برای فرو بردن ریشه‌های پیاز در دل خاک، فراهم کردن آب و مواد مغذی برای گیاهِ درحال‌رشد، و پابرجا نگه داشتنِ آن کفایت می‌کند.

هرچه دربارهٔ سلول بیشتر یاد گرفتم، بر حیرتم افزوده شد. گوناگونی شکل و اندازهٔ سلول‌ها باورنکردنی است. بیشترشان کوچک‌تر از آن هستند که با چشم غیرمسلح دیده شوند؛ واقعاً کوچک‌اند. از نوعی باکتری انگل که می‌تواند مثانه را عفونی کند باید سه‌هزار تا پهلوبه‌پهلوی هم قرار داد تا شکافی یک‌میلی‌متری را پر کنند. سلول‌های عظیم‌الجثه نیز وجود دارند. اگر امروز صبحانه تخم‌مرغ خورده باشید، بد نیست بدانید که کل زردهٔ

1. Keith Neal

تخم‌مرغ فقط یک سلول منفرد است. بعضی سلول‌های بدن ما نیز بسیار بزرگ هستند. برای مثال، بعضی سلول‌های عصبی هستند که از پایین نخاع تا نوک انگشت بزرگ پا امتداد می‌یابند. این یعنی آنکه طول هرکدام از این سلول‌ها ممکن است به حدود یک متر هم برسد!

اگرچه این‌همه تنوع بسیار شگفت‌انگیز است، اما برای من از همه جالب‌تر اشتراک میان همهٔ سلول‌ها است. دانشمندان همیشه به شناسایی واحدهای بنیادی علاقه دارند که بهترین نمونه‌اش اتم به‌عنوان واحد بنیادی ماده است. اتم زیست‌شناسی سلول است. سلول نه‌تنها واحد ساختاری بنیادی تمام جانَداران بلکه ضمناً واحد کارکردی بنیادی حیات است. منظورم از این جمله این است که سلول کوچک‌ترین موجودی است که ویژگی‌های اصلی حیات را دارد. این واقعیت بنیان چیزی است که زیست‌شناسان آن را نظریهٔ سلولی می‌نامند: تا جایی که می‌دانیم، هرچیزی روی این سیاره که زنده است یا یک سلول است یا از مجموعه‌ای از سلول‌ها ساخته شده است. سلول ساده‌ترین چیزی است که قطعاً می‌توان گفت زنده است.

نظریهٔ سلولی نزدیک به یک قرن و نیم قدمت دارد، و به یکی از مبانی مهم زیست‌شناسی تبدیل شده است. با توجه به اهمیت این ایده برای درک زیست‌شناسی، به نظرم عجیب است که خیلی کمتر از آنچه باید توجه عموم را به خود جلب کرده است. شاید علتش این باشد که بیشتر آدم‌ها در کلاس‌های زیست‌شناسی مدرسه می‌آموزند که سلول‌ها چیزی بیش از واحدهای سازندهٔ موجودات پیچیده‌تر نیستند، در حالی که واقعیت به‌مراتب جالب‌تر از این است.

داستان سلول در سال ۱۶۶۵ و با رابرت هوک[1] آغاز می‌شود. هوک عضو انجمن سلطنتی لندن بود که در آن زمان تازه تأسیس شده بود و از قدیمی‌ترین فرهنگستان‌های علوم در جهان است. چنانکه معمولاً در علم اتفاق می‌افتد، اختراع یک فناوری جدید بود که این کشف را برای

1. Robert Hooke (1635-1703)

او رقم زد. از آنجا که بیشتر سلول‌ها کوچک‌تر از آن هستند که با چشم غیرمسلح دیده شوند، کشف آنها تا پیش از اختراع میکروسکوپ در اوایل قرن هفدهم امکان نداشت. دانشمندان معمولاً ترکیبی از نظریه‌پرداز و صنعتگر ماهرند، و این قاعده بی‌تردید در مورد هوک صدق می‌کرد که با ابزارهای علمی جدیدی که اختراع می‌کرد کاوش در مرزهای فیزیک، معماری، یا زیست‌شناسی برایش تفاوتی نداشت و به یک اندازه آسان بود. او میکروسکوپ خودش را ساخت و سپس از آن برای کاوش دنیاهای عجیبی استفاده کرد که از چشم غیرمسلح پنهان مانده بودند.

یکی از چیزهایی که هوک زیر میکروسکوپش به آن نگاه کرد برشی نازک از چوب‌پنبه بود. دید که چوب‌پنبه از ردیف‌های پیاپی حفره‌های دیواردار ساخته شده، بسیار شبیه به سلول‌های نوک ریشهٔ پیاز که من ۳۰۰ سال بعد در مدرسه دیدم. هوک نام این حجره‌ها را cell (سلول) گذاشت که از ریشهٔ لاتین *cella* به معنای اتاقک گرفته شده است. در آن زمان هوک نمی‌دانست سلول‌هایی که ترسیم کرده درواقع جزء سازندهٔ اصلیِ نه‌تنها تمام گیاهان بلکه کل حیات است.

اندکی پس از هوک، یک پژوهشگر هلندی به نام آنتونی فان لیوونهوک[1] با کشف حیات تک‌سلولی مشاهدهٔ سرنوشت‌ساز دیگری انجام داد. او این جانداران میکروسکوپی را سرگرم شنا در نمونه‌های آب برکه و سرگرم رشد در جرمی که از دندانش کنده بود مشاهده کرد: مشاهده‌ای که خیلی ناراحتش کرد، زیرا به بهداشت دندان‌هایش افتخار می‌کرد! او به این موجودات ریز نام محبت‌آمیز «حیوانکی‌ها»[2] را داد که امروزه دیگر از آن استفاده نمی‌کنیم. آنهایی که داشتند لای دندان‌هایش رشد می‌کردند درواقع نخستین باکتری‌هایی بودند که توصیف شدند. لیوونهوک اتفاقی به قلمروِی کاملاً جدیدی از اشکال حیاتی تک‌سلولی خردجثه برخورده بود.

1. Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) 2. animalcules

اکنون می‌دانیم که باکتری‌ها و سایر انواع سلول‌های میکروبی («میکروب» اصطلاحی است کلی برای تمام جانداران میکروسکوپی که می‌توانند به شکل سلول منفرد زندگی کنند) با فاصلهٔ زیاد پرشمارترین اشکال حیاتی روی سیارهٔ زمین هستند. در محیط‌های گوناگون، از ارتفاعات هواکُره گرفته تا اعماق پوستهٔ زمین، زندگی می‌کنند. در نبود آنها، حیات تعطیل خواهد شد. مواد زائد را تجزیه می‌کنند، خاک می‌سازند، مواد مغذی را بازیافت می‌کنند و نیتروژنی را که گیاهان و جانوران برای رشدشان نیاز دارند از هوا می‌گیرند و تثبیت می‌کنند. و هنگامی که دانشمندان به بدن خودمان نگاه می‌کنند، می‌بینند که به ازای هریک از ۳۰ تریلیون یا بیشتر سلول انسانی که بدن ما از آنها تشکیل شده، دست‌کم یک سلول میکروبی داریم. شما همچون هر انسان دیگری، نه یک فرد مجزا و منفرد، بلکه کلنی غول‌آسا و پیوسته در تغییری هستید که از سلول‌های انسانی و غیرانسانی تشکیل شده است. این سلول‌های میکروسکوپی باکتری‌ها و قارچ‌ها که روی بدن ما و درون بدن ما زندگی می‌کنند، بر گوارش غذا و مبارزهٔ ما با بیماری‌ها اثر می‌گذارند.

اما تا پیش از قرن هفدهم، هیچ‌کس کوچک‌ترین تصوری از وجود این سلول‌های نامرئی نداشت، چه رسد به اینکه بداند آنها بر اساس اصول پایهٔ یکسانی مانند تمام اشکال حیاتی مرئی دیگر کار می‌کنند.

در طول قرن هجدهم و تا ابتدای قرن نوزدهم، میکروسکوپ‌ها و تکنیک‌های ریزنگاری پیشرفت کردند، و چیزی نگذشت که دانشمندان سلول‌ها را در انواع جانداران گوناگون شناسایی کردند. بعضی کم‌کم به این فکر افتادند که شاید تمام گیاهان و جانوران از مجموعه‌ای از همان ریزجاندارانی ساخته شده باشند که لیوونهوک چندین نسل پیش از آنها شناسایی کرده بود. آن‌گاه، پس از یک دورهٔ طولانی جنینی، نظریهٔ سلولی سرانجام تمام و کمال متولد شد. در سال ۱۸۳۹ ماتیاس اشلایدن[1] گیاه‌شناس و تئودور شوان[2] جانورشناس، با جمع‌بندی پژوهش‌های خودشان و بسیاری

1. Matthias Schleiden (1804-1881) 2. Theodore Schwann (1810-1882)

از پژوهشگران دیگر نوشتند: «ما به این نتیجه رسیده‌ایم که تمام جانداران از اجزای اساساً همانندی تشکیل شده‌اند که همان سلول است.» علم به این نتیجهٔ روشنگر رسیده بود که سلول واحد ساختاری بنیادی حیات است.

پیامدهای این آگاهی هنگامی روشن‌تر شد که زیست‌شناسان دریافتند هر سلول خودش به‌تنهایی یک شکل حیاتی است. این بینش را آسیب‌شناس پیشگامی به نام رودولف ویرشو[1] در سال ۱۸۵۸ چنین بیان کرد: «به نظر می‌رسد هر جانوری حاصل جمع واحدهایی حیاتی است که هرکدام ویژگی‌های کامل حیات را در خود دارد.»

معنایش این است که تمام سلول‌ها خودشان زنده هستند. زیست‌شناسان هنگامی که از بدن پرسلولی جانوران یا گیاهان تعدادی سلول برمی‌دارند و آنها را در ظرف شیشه‌ای یا پلاستیکی، و معمولاً ظرف ته‌پهنی به نام پتری دیش[2]، زنده نگه می‌دارند، این واقعیت را به‌روشنی اثبات می‌کنند. اکنون چندین دهه است که تعدادی از این دودمان‌های سلولی در آزمایشگاه‌های سراسر جهان بی‌وقفه کشت شده‌اند. این سلول‌ها به پژوهشگران امکان می‌دهند فرایندهای زیستی را بدون نیاز به سر و کله زدن با پیچیدگی جاندارِ کامل بررسی کنند. سلول‌ها فعال‌اند، یعنی می‌توانند حرکت کنند و به محیط پاسخ دهند، و محتویاتشان پیوسته در حرکت است. در مقایسه با جانداری کامل همچون یک جانور یا گیاه، سلول ممکن است ساده به نظر رسد، اما در زنده بودن آن تردیدی نیست.

اما در نظریهٔ سلولی، به‌شکلی که ابتدا توسط اشلایدن و شوان تدوین شد، خلأ مهمی وجود داشت. توضیح نمی‌داد که سلول‌های جدید چگونه به وجود می‌آیند. این خلأ هنگامی پر شد که زیست‌شناسان دریافتند سلول‌ها با تقسیم خودشان از یک سلول به دو سلول تولیدمثل می‌کنند، و نتیجه گرفتند که سلول فقط و منحصراً در نتیجهٔ تقسیم و دو نیم شدن سلولی که از پیش موجود باشد به وجود می‌آید. ویرشو با عبارت لاتین

1. Rudolf Virchow (1821-1902) 2. Petri dish

'Omnis cellula e cellula' به معنای تمام سلول‌ها از سلول به وجود می‌آیند، این ایده را مشهور ساخت. این عبارت به مقابله با فکری نادرست که در آن زمان هنوز رواج داشت و بنا بر آن حیات مدام و خودبه‌خود از مادهٔ بی‌جان پدید می‌آید، نیز کمک کرد.

تقسیم سلولی بنیان رشد و تکوین تمام جانداران است. تقسیمْ نخستین گام سرنوشت‌ساز در تغییر شکل یک سلول تخم لقاح‌یافتهٔ یکدست و منفرد در جانوران به گلوله‌ای از سلول‌ها و سرانجام به موجود زنده‌ای بسیار پیچیده و سازمان‌یافته به نام رویان است. تمام اینها با تقسیم یک سلول و تولید دو سلول آغاز می‌شود که ممکن است هویت‌هایی متفاوت پیدا کنند. کل تکوین رویان که پس از این انجام می‌شود بر پایهٔ همین فرایند است: دورهای پیاپی تقسیم سلولی، و به دنبال آن ایجاد رویانی با الگوی هرچه پیچیده‌تر، در نتیجهٔ بلوغ سلول‌ها و تبدیل آنها به بافت‌ها و اندام‌های هرچه تخصصی‌تر. این به معنای آن است که تمام جانداران، فارغ از جثه یا پیچیدگی‌شان، از یک سلول به وجود می‌آیند. به نظرم همهٔ ما احترام بیشتری برای سلول‌ها قائل خواهیم شد وقتی به یاد آوریم که هرکدام از ما زمانی یک سلول منفرد بیشتر نبوده‌ایم که در لحظهٔ لقاح از اتحاد یک اسپرم و یک تخمک پدید آمده است.

تقسیم سلولی ضمناً روش‌های به‌ظاهر معجزه‌آسای بدن برای ترمیم خویش را نیز توضیح می‌دهد. اگر انگشتتان را با لبهٔ کاغذ این صفحه ببرید، آنچه زخم را ترمیم، و به شما کمک می‌کند بدنی سالم داشته باشید، تقسیم سلولی موضعی در اطراف محل بریدگی است. اما سرطان نقطهٔ مقابل و بدفرجام توانایی بدن برای راه‌اندازی دورهای تازهٔ تقسیم سلولی است. سرطان نتیجهٔ رشد و تقسیم افسارگسیختهٔ سلول‌ها است که می‌توانند بدخیمی‌شان را گسترش دهند و به بدن آسیب برسانند یا سبب مرگش شوند.

رشد، ترمیم، تباهی، و بدخیمی همگی به تغییر ویژگی‌های سلول‌های ما، در بیماری و در تندرستی، در جوانی و در پیری، مربوط می‌شوند.

درواقع، علت بیشتر بیماری‌ها را می‌توان تا اختلال عملکرد سلول‌ها دنبال کرد، و شناخت ما از اشکالی که در کار سلول‌ها پدید آمده مبنای شیوه‌های جدیدی است که برای درمان بیماری‌ها ابداع می‌کنیم.

تأثیر نظریهٔ سلولی بر مسیر پژوهش در علوم حیاتی و پزشکی همچنان ادامه دارد. تأثیرش بر روند زندگی من نیز چشمگیر بوده. از سیزده‌سالگی که روی میکروسکوپ خم شدم و از چشمی‌هایش سلول‌های نوک ریشهٔ پیاز را دیدم، دربارهٔ سلول‌ها و طرز کار آنها کنجکاو بوده‌ام. هنگامی که کارم را به‌عنوان پژوهشگر زیست‌شناسی آغاز کردم، تصمیم گرفتم سلول‌ها را بررسی کنم، به‌ویژه اینکه سلول‌ها چگونه خودشان تولیدمثل و تقسیمشان را کنترل می‌کنند.

سلول‌هایی که در دههٔ ۱۹۷۰ کارم را با آنها آغاز کردم سلول‌های مخمر بودند که از نظر بیشتر مردم فقط به درد ساخت شراب، ماءالشعیر، یا نان می‌خورند، و نه به درد حل مسائل بنیادی زیست‌شناسی. اما درواقع، آنها مدلی فوق‌العاده برای شناخت طرز کار سلول‌های جانداران پیچیده‌تر هستند. مخمر نوعی قارچ است، اما سلول‌هایش شباهتی شگفت‌انگیز به سلول‌های گیاهی و جانوری دارند. ضمناً کوچک و نسبتاً ساده‌اند، به‌سرعت رشد می‌کنند و اگر با مواد غذایی ساده تغذیه شوند هزینهٔ چندانی ندارند. در آزمایشگاه آنها را یا در حالت شناور در آب‌گوشت مایع کشت می‌کنیم یا روی لایه‌ای از ژل در پتری‌دیش پلاستیکی. کلنی‌هایی به رنگ سفید شیری یا کرم به قطر چند میلی‌متر تشکیل می‌دهند که هرکدام حاوی میلیون‌ها سلول است. سلول‌های مخمر با وجود سادگی، یا دقیق‌تر بگویم به دلیل سادگی‌شان، در شناخت نحوهٔ تقسیم سلول‌ها در بیشتر جانداران و ازجمله انسان کمک زیادی به ما کرده‌اند. خیلی از چیزهایی که دربارهٔ تقسیم افسارگسیختهٔ سلول‌های سرطانی می‌دانیم ابتدا با بررسی همین مخمرهای ناچیز روشن شده‌اند.

سلول واحد بنیادی حیات است. سلول موجود زندهٔ منفردی است در احاطهٔ غشایی از جنس لیپیدهای چربی‌مانند. اما درست همان‌طور که اتم‌ها