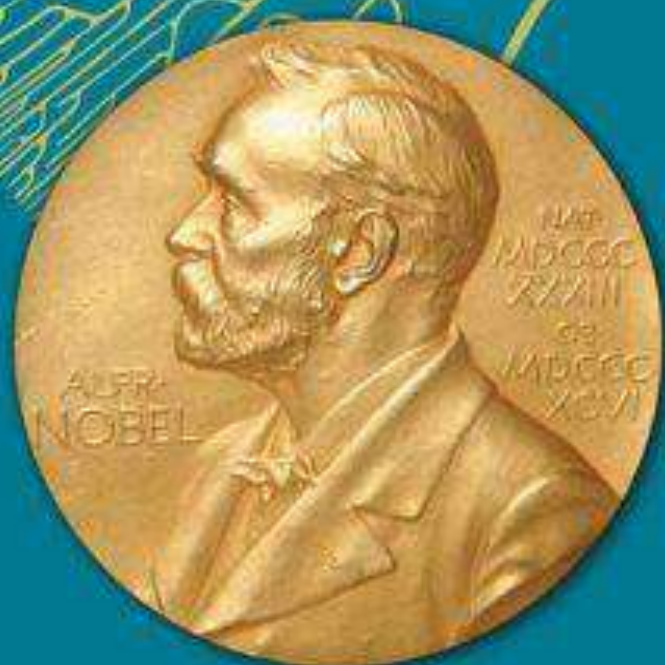


Paul Nurse
What Is Life?
Five Great Ideas in Biology

حیات چیست؟

پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناسی



پل نرس برنده جایزه نوبل | ترجمه‌ی آرمان نیسی

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناسی

حیات چیست؟

پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناسی

نویسنده: پل نرس

مترجم: آرمان نیسی

انتشارات مازیار

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

مقدمه

احتمالاً یک پروانه بود که اولین بار مرا واداشت که به طور جدی به زیست شناسی فکر کنم. اوایل بهار بود: شاید دوازده سیزده ساله بودم، وقتی که در آن باغ نشسته بودم و پروانه زردی بال بال زنان از روی حصاری پر زد. پروانه چرخ می زد، آن دور و ور پلکید و اندکی جاگیر شد - آن قدری که من متوجه رگه های ظریف و نقطه های روی بال هایش شوم. بعد سایه ای آرامش اش را بر هم زد و پروانه دوباره پر کشید و در آن سوی حصار ناپدید شد. آن پروانه ظریف و خوش تراش مرا به فکر انداخت. پروانه هم در نظرم غریب می آمد و هم یکجورهایی برایم آشنا بود. همچون من، به وضوح زنده به نظر می رسید: می توانست حرکت کند، می توانست حس کند، واکنش نشان بدهد و در نظر من کاملاً هدف و غایتی داشت. خودم را در حال فکر کردن به این سوال یافتم: زنده بودن واقعاً به چه معناست؟ خلاصه کلام، حیات چیست؟

بخش زیادی از زندگی ام را به فکر کردن درباره این سوال گذرانده ام، اما یافتن جوابی رضایت بخش چندان آسان نیست. شاید تعجب برانگیز باشد، اما تعریف مورد اجماعی برای حیات وجود ندارد. اما دانشمندان برای قرون متمادی با این سوال سروکله زده اند. حتی عنوان این کتاب، حیات چیست؟، به طور بی شرمانه ای از اروین شرودینگر^۱ فیزیکدان دزدیده شده است که کتاب تأثیرگذاری را با همین عنوان در ۱۹۴۴ منتشر کرد. وی تمرکز اصلی اش را بر روی جنبه ای مهم از حیات گذاشته بود: چگونه موجودات زنده یک چنین متحدالشکلی [همگونی] و نظم تحسین برانگیزی را برای نسل های متمادی در عالمی حفظ کرده اند که بنابر اصل دوم ترمودینامیک، همواره به سمت وضعیتی از بی نظمی و آشوب حرکت می کند. شرودینگر کاملاً به درستی متوجه شد که سوال اصلی همین است، و او معتقد بود که درک وراثت - اینکه ژن ها چیستند و چگونه وفادارانه از نسلی به نسل بعدی منتقل می شوند - کلید حل این مسئله است.

من هم در این کتاب، همین سوال را مطرح می کنم - حیات چیست؟ - اما فکر نمی کنم که فقط رمزگشایی از وراثت بتواند جواب کاملی در اختیار ما بگذارد. در عوض می خواهم پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناسی را مطرح کنم تا با استفاده از آن ها همچون پله هایی که باید یکی یکی از آن ها صعود کرد، به چشم انداز روشن تری از نحوه فعالیت حیات برسیم. این مفاهیم مدت ها است که در اطراف ما پرتاب می شدند، و عموماً به تمامی پذیرفته شده است که آن ها می توانند نحوه عملکرد موجودات زنده را توضیح بدهند. اما من می خواهم این مفاهیم متفاوت را به روش های جدیدی گرد هم جمع کنم، و از آن ها برای بسط مجموعه ای از مبانی منسجمی بهره ببرم که قرار است تعریفی از حیات ارائه دهند. امیدوارم که آن ها به ما کمک کنند تا به دنیای زنده

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

با نگاهی نو بنگریم.

از همین ابتدا باید خاطر نشان کنم که زیست‌شناسان اغلب از صحبت کردن درباره مفاهیم بزرگ و نظریه‌های کلی طفره می‌روند. از این نظر، ما با فیزیکدانان تفاوتی نسبی داریم. گاهی اوقات اینطور به نظر می‌رسد که ما از غرق شدن در جزئیات، فهرست‌نامه‌ها و توصیفات، مانند لیست کردن همه گونه‌ها بر اساس یک رفتار خاص یا شمارش موهای روی پای یک سوسک و یا تعیین توالی هزاران ژن، رضایت بیشتری داریم. شاید این تنوع سرگیجه‌آور و حتی فلج‌کننده طبیعت است که باعث می‌شود یافتن نظریه‌های ساده و مفاهیمی منسجم سخت به نظر برسند. اما در زیست‌شناسی هم از این دست مفاهیم مهم و کلی «وجود دارد»، و آن‌ها به ما کمک می‌کنند تا از حیات با همه پیچیدگی‌هایش سر در بیاوریم.

پنج مفهومی که برای شما شرح خواهم داد، عبارتند از: «سلول»، «ژن»، «تکامل از طریق انتخاب طبیعی»، «حیات به مثابه شیمی» و «حیات به مثابه اطلاعات». نه تنها ضمن توضیح دادن درباره اینکه آن‌ها از کجا پیدایشان شده است، چرا اهمیت دارند و چگونه بر روی هم تأثیر می‌گذارند، بلکه می‌خواهم نشان بدهم که آن‌ها هنوز هم امروزه بر اساس کشفیات جدید دانشمندان که در سرتاسر دنیا صورت می‌گیرد بیش از پیش در حال تغییر و تحول هستند. همچنین می‌خواهم به شما نشان بدهم که درگیر اکتشافات علمی بودن، چه طعم و مزه‌ای دارد. بنابراین من دانشمندی را به شما معرفی می‌کنم که این پیشرفت‌ها را رقم زدند، بعضی از آن‌ها را من شخصاً می‌شناسم. در ضمن می‌خواهم داستان‌هایی از تجارب تحقیقاتی خودم در آزمایشگاهم برایتان تعریف کنم و از حدس و گمانه‌زنی‌ها، نومی‌ها، خوش‌شانسی و لحظات کمیاب اما شگفت‌انگیزی از فکر بکرهای یکسره جدیدی بگویم. هدفم این است که شما را در هیجان اکتشافات علمی شریک کنم و کاری کنم که حس رضایت‌بخشی را تجربه کنید که طی روند فهم فزاینده دنیای طبیعی به سراغ‌تان می‌آید.

فعالیت‌های انسانی ما دارد اقلیم و بسیاری از اکوسیستم‌هایی را که از آن پشتیبانی می‌کنند، به سمت آستانه تحمل‌شان - و حتی فراتر از آن - سوق می‌دهد. برای حفظ حیات به همین صورتی که آن را می‌شناسیم، ما به همه اطلاعات و دانشی نیاز داریم که می‌توانیم آن‌ها را با مطالعه دنیای زنده کسب کنیم. به همین دلیل است که در سال‌ها و دهه‌های پیش رو، زیست‌شناسی به طور روزافزونی در انتخاب اینکه مردم چگونه زندگی کنند، متولد شوند، تغذیه کنند، بهبودی یافته و از پاندمی‌ها جان سالم به در ببرند، ما را یاری خواهد رساند. ما بعضی از این کاربردهای دانش زیست‌شناسی و بده و بستان‌های دشوار، عدم قطعیت اخلاقی و تبعات ناخواسته احتمالی‌شان را

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

شرح خواهیم داد. اما پیش از اینکه خودمان را به این بحث‌های فزاینده بسپاریم که حول این موضوعات شکل گرفته‌اند، ابتدا باید از خودمان پرسیم که حیات چیست و چگونه کار می‌کند.

ما در عالمی گسترده و اعجاب‌انگیز زندگی می‌کنیم، اما حیاتی که درست همین جا، در این کنجِ ناچیز از آن کلِ بزرگ‌تر رشد و نمو می‌کند، یکی از مسحورکننده‌ترین و مرموزترین بخش‌های آن می‌باشد. پنج مفهومی که در این کتاب آمده است، همچون پله‌هایی عمل می‌کنند که ما از آن‌ها بالا خواهیم رفت، و به تدریج و به طور فزاینده‌ای اصولی را آشکار خواهیم کرد که حیات روی زمین را تعریف می‌کنند. این به ما در فکر کردن راجع به اینکه حیات بر روی سیاره‌مان برای اولین بار چگونه آغاز شد و اینکه اگر در یک جایی از عالم به شکلی از حیات برخورد کردیم، به چه شکلی خواهد بود، کمک خواهد کرد. هدفم این است که با هر تحصیلاتی که دارید - حتی اگر فکر می‌کنید که اطلاعات کمی درباره علم دارید یا حتی چیزی از آن نمی‌دانید - بتوانیم به درک بهتری از ارتباط شما، من، آن پروانه ظریف و همه دیگر موجودات زنده روی سیاره‌مان برسیم.

امیدوارم که همه‌مان بتوانیم در کنار یکدیگر به درک بهتر و نزدیک‌تری از چیستی حیات دست پیدا کنیم.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

۱. سلول

کوچک‌ترین جزء زیست‌شناسی

اندکی بعد از مواجهه‌ام با پروانه زرد رنگ، برای اولین بار سلولی را در مدرسه‌مان مشاهده کردم. معلم‌مان جوانه‌های سبز شده پیاز و ریشه‌های له شده آن‌ها را در زیر اسلاید میکروسکوپ گذاشته بود تا اجزای تشکیل دهنده‌شان را ببینیم. معلم الهام‌بخش زیست‌شناسی‌مان، کیت نیل به ما توضیح داد که سلول‌ها، واحدهای بنیادین زیست‌شناسی را می‌بینید. و آن‌ها آنجا بودند: ردیف‌هایی صاف و ساده از سلول‌های جعبه‌مانند که با نظم و ترتیب در ستون‌هایی چیده شده بودند. فکر اینکه رشد و تقسیم این سلول‌های کوچک به تنهایی برای نفوذ کردن ریشه‌های پیاز در دل خاک و فراهم کردن آب و مواد غذایی لازم برای رشد گیاه و پا برجایی آن کافی هستند، بسیار الهام‌بخش بود.

هر چه بیشتر درباره سلول‌ها یاد می‌گرفتم، بیشتر و بیشتر شگفت‌زده‌ام می‌کردند. سلول‌ها از حیث اندازه و شکل تنوعی باورنکردنی دارند. اغلب آن‌ها به قدری کوچک هستند که با چشم غیرمسلح دیده نشوند - آن‌ها حقیقتاً ریز هستند. سه هزار عدد از سلول‌های خاص نوعی باکتری انگلی که مثانه را آلوده می‌کنند، می‌توانند در داخل شکافی یک میلی‌متری تجمع کنند. بعضی از سلول‌ها هم بسیار بزرگ هستند. اگر یک تخم مرغ برای صبحانه دارید، بدانید که همه زرده آن، یک سلول منفرد است. بعضی از سلول‌های درون بدن ما نیز عظیم‌الجثه هستند. برای مثال، سلول‌های عصبی خاصی وجود دارند که از پایین ستون فقرات تا نوک انگشت شست پای‌تان کشیده شده‌اند. این بدین معناست که این سلول‌ها می‌توانند تا یک متر طول داشته باشند! با وجود شگفت‌انگیزی این تنوع، من بیشتر به وجوه اشتراک همه سلول‌ها علاقه دارم. دانشمندان همیشه علاقه داشته‌اند که واحدهای بنیادین را شناسایی کنند، بهترین مثال آن، اتم به عنوان واحدهای بنیادین ماده است. معادل اتم در زیست‌شناسی، سلول است. سلول‌ها نه تنها واحدهای ساختاری بنیادین همه موجودات زنده می‌باشند، بلکه واحدهای عملیاتی بنیادین حیات نیز هستند. منظور این که سلول‌ها کوچک‌ترین موجوداتی هستند که همه ویژگی‌های اصلی حیات را دارند. این موضوع، بنیان چیزی است که زیست‌شناسان آن را نظریه سلول می‌نامند: تا جایی که ما می‌دانیم، هر آنچه که بر روی سیاره‌مان زندگی می‌کند، یا یک سلول است یا اینکه از مجموعه‌ای از سلول‌ها ساخته شده است. سلول، کوچک‌ترین چیزی است که می‌توان مشخصاً لقب زنده را بدان نسبت داد.

نظریه سلول حدود یک قرن و نیم قدمت دارد، و یکی از مبانی مهم زیست‌شناسی می‌باشد. با توجه به اهمیت این مفهوم برای درک زیست‌شناسی، از این متعجبم که

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

چرا بیش از این نظر عموم را به خود جلب نکرده است. احتمالاً دلیل آن این باشد که اغلب مردم در کلاس‌های زیست‌شناسی در دوران مدرسه یاد گرفته‌اند که سلول‌ها را صرفاً به عنوان بلوک‌های ساختمانی موجودات پیچیده‌تری ببینند. حال آنکه واقعاً جالب‌تر از این حرف‌هاست.

داستان سلول با رابرت هوک، یکی از اعضای جامعه جدیدالتأسیس سلطنتی لندن از سال ۱۶۶۵ شروع می‌شود، یکی از اولین آکادمی‌های علمی در دنیا. همان‌طور که در علم معمول است، این یک فناوری جدید بود که جرعه این کشف را زد. از آنجا که سلول‌ها کوچک‌تر از آن هستند که با چشمان غیرمسلح دیده شوند، برای کشف آن‌ها باید تا اختراع میکروسکوپ در اوایل قرن هفدهم صبر می‌کردیم. دانشمندان اغلب ترکیبی از نظریه‌پردازان و صنعتگرانی ماهر هستند، و این در مورد هوک هم قطعاً صادق است که به همان اندازه که به کاوش در درون مرزهای فیزیک، معماری یا زیست‌شناسی می‌پرداخت، دستی هم در اختراع ابزارهای علمی داشت. او میکروسکوپی برای خودش ساخت، و با آن دنیاهای عجیب پنهان شده از دیدرس چشمان غیرمسلح را در نوردید.

یکی از چیزهایی که به آن نگاه کرد، تکه‌ای نازک از چوب پنبه بود. او متوجه شد که چوب بلوط از چندین ردیف از حفرات جداره‌دار تشکیل شده است که بسیار شبیه به سلول‌های داخل نوک ریشه‌های پیازی بودند که من سیصد سال بعد در مقام یک دانش‌آموز مشاهده‌شان کردم. هوک اسم سلول را که بر آن‌ها گذاشته بود، از کلمه لاتین cella به معنی اتاق کوچک یا حجره گرفته بود. هوک در آن موقع نمی‌دانست که سلول‌هایی که تشریح کرده بود، عناصر تشکیل‌دهنده نه تنها گیاهان، بلکه همه اشکال حیات بودند.

اندکی بعد از هوک، محقق هلندی آنتونی وان لونهوک طی مشاهده مهم دیگری، به کشف حیات تک سلولی نائل آمد. او متوجه شد که این موجودات میکروسکوپی در نمونه‌هایی از آب استخر شنا کرده و حتی در جرمی که از روی دندان‌های خودش تراشیده بودند هم رشد می‌کنند: این مشاهده باعث آزار او شد، زیرا او به رعایت بهداشت دهان و دندان خودش غره بود! او بر روی این موجودات ریز اسمی محبت‌آمیز گذاشت که ما امروزه دیگر آن را استفاده نمی‌کنیم، «انیمالکولس»^۲. آن موجوداتی که او آن‌ها در حال رشد بر روی دندان‌هایش یافته بود، در واقع به اولین باکتری‌هایی تبدیل شدند که تا آن زمان توصیف شده بودند. لیوونهوک تصادفاً به یک سلسله^۳ کاملاً جدید از اشکال تک سلولی ریز بر خورده بود.

امروزه می‌دانیم که باکتری‌ها و انواع دیگری از سلول‌های میکروبی («میکروب» اسمی عمومی برای همه موجوداتی میکروسکوپی است که تک سلولی هستند) بدون

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

شک پرتعدادترین اشکال حیات بر روی سیاره‌مان می‌باشند. آن‌ها در هر محیط زیستی، از ارتفاعات جو تا اعماق پوسته کره زمین سکونت دارند. بدون وجود آن‌ها، حیات دچار رکود و سکون می‌شود. آن‌ها ضایعات و زباله‌ها را تجزیه می‌کنند، باعث تولید خاک می‌شوند، مواد مغذی را بازیافت می‌کنند و نیتروژن مورد نیاز برای رشد گیاهان و جانوران را از هوا دریافت می‌کنند. و وقتی که دانشمندان به بدن‌های خودمان می‌نگرند، متوجه می‌شوند که ما به ازای هر کدام از تمامی ۳۰ تریلیون سلول انسانی‌مان (یا کمی بیشتر)، حداقل یک سلول میکروبی داریم. شما - و همه دیگر انسان‌ها-، موجوداتی خاص و منزوی شده نیستید، بلکه کلونی بزرگ و پیوسته در تغییری هستید که از سلول‌های انسانی و غیرانسانی ساخته شده است. این سلول‌های متشکل از باکتری‌های میکروسکوپی و قارچ‌ها، «بر روی» و «درون» ما زندگی می‌کنند و بر روی نحوه هضم غذا و مبارزه با بیماری‌ها در بدن‌مان تأثیر می‌گذارند.

اما پیش از قرن هفدهم روح هیچ کسی هم خبر نداشت که اصلاً چنین سلول‌های نامرئی‌ای وجود داشته باشند، چه برسد به اینکه آن‌ها مانند دیگر اشکال مرئی‌تر حیات براساس اصول بنیادینی مشابهی فعالیت می‌کردند.

طی قرن هیجدهم و ابتدای قرن نوزدهم، میکروسکوپ‌ها و تکنیک‌های میکروسکوپی پیشرفت کردند، و خیلی زود دانشمندان سلول‌هایی را شناسایی کردند که کاملاً متفاوت از دیگر موجودات بودند. بعضی‌ها این حرف را پیش کشیدند که همه گیاهان و جانوران از مجموعه‌هایی از آن حیوان کوچولوهای ساخته شده‌اند که چندین نسل پیش‌تر، لونه‌وک کشف‌شان کرده بود. سپس نظریه سلول، سرانجام بعد یک مدت طولانی که صرف شکل‌گیری و بسط آن شد، به طور کامل متولد گردید. در ۱۸۳۹ ماتیاس شلایدن گیاه‌شناس و تئودور شوان جانورشناس نتیجه کار را برای خودشان و دیگر محققان این‌گونه خلاصه کردند: «براساس مشاهدات ما، همه موجودات زنده اساساً از اجزایی مشابه، یعنی سلول‌ها تشکیل شده‌اند». علم به این نتیجه راهگشا رسیده بود که سلول، واحد ساختاری و بنیادین حیات است.

نتایج این شناخت زمانی عمیق‌تر شد که زیست‌شناسان دریافتند که هر سلولی، به نوبه خود، شکلی از حیات می‌باشد. وقتی که در ۱۸۵۸ پاتولوژیست پیشگام، رودولف ویرشو نوشت «هر جانوری که به صورت مجموعه‌ای از واحدهای بنیادین ظاهر می‌شود، در درون خودش همه ویژگی‌های حیات را دارد»، در واقع به این مفهوم چنگ زد.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این بدین معنی است که همه سلول‌ها، خودشان زنده هستند. زیست‌شناسان با برداشتن سلول‌هایی از بدن‌های چندسلولی جانوران یا گیاهان و زنده نگه داشتن آن‌ها در داخل ظرف‌های پلاستیکی یا شیشه‌ای، اغلب ظرف‌هایی با ته تخت به نام ظرف پتری، این موضوع را به روشن‌ترین شکل ممکن اثبات کرده‌اند. بعضی از این خطوط سلولی^۴ برای دهه‌ها در آزمایشگاه‌هایی در سرتاسر دنیا پرورش داده می‌شوند. آن‌ها به محققان این اجازه را می‌دهند که بدون نیاز به دشواری‌های کار با یک موجود زنده کامل، به مطالعه فرایندهای زیست‌شناختی بپردازند. سلول‌ها فعال هستند؛ آن‌ها حرکت کرده و به محیط اطراف‌شان واکنش نسبی نشان می‌دهند، و محتویات آن‌ها نیز پیوسته در حال حرکت می‌باشند. در مقایسه با موجود کاملی مانند یک جانور یا یک گیاه، سلول ممکن است ساده به نظر برسد، اما قطعاً زنده است.

هرچند در نظریه سلول، از همان ابتدا که توسط شلایدن و شوان بیان شد، یک شکاف مهم داشت. این نظریه توضیح نمی‌داد که سلول‌های جدید چگونه به وجود می‌آیند. وقتی که زیست‌شناسان متوجه شدند که سلول‌ها با تقسیم کردن خودشان از یک به دو سلول تکثیر پیدا می‌کنند، این شکاف بسته شد و آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سلول‌ها تنها از طریق تقسیم یک سلول از پیش موجود به دو سلول جدید به وجود می‌آیند. ویرشو این مفهوم را با لطیفه‌ای لاتین رواج داد: *Omnis cellula e cellula*؛ یعنی همه سلول‌ها از سلول به وجود آمده‌اند. این عبارت به تصحیح انگاره‌ای غلط مبنی بر اینکه حیات یک دفعه و به طور خود به خودی، همواره از ماده‌ای بی‌جان به وجود می‌آید، و در آن زمان هنوز مقبول بسیاری بود، کمک کرد - این گزاره درست نبود.

تقسیم سلولی، شالوده رشد و نموی همه موجودات زنده می‌باشد. و اولین قدم اساسی در تبدیل یک تخمک بارور شده منفرد و ساده به توده‌ای از سلول‌ها و نهایتاً به یک موجود زنده به شدت پیچیده و سازمان یافته به نام رویان (embryo) می‌باشد. همه این‌ها با یک تقسیم سلولی و تشکیل دو سلولی آغاز می‌شود که می‌توانند هویت‌های متفاوتی به خود بگیرند. رشد و نموی کامل رویان بعداً براساس فرایند مشابهی انجام می‌شود - دوره‌های مکرری از تقسیم سلولی و به دنبال آن با بالغ شدن سلول‌ها و تبدیل شدن آن‌ها به بافت‌ها و اندام‌هایی تخصصی‌تر، رویانی با الگویی دقیق‌تر و متعالی‌تر خلق می‌گردد. این بدین معناست که همه موجودات زنده، فارغ از اندازه یا پیچیدگی‌شان، از یک سلول منفرد به وجود می‌آیند. فکر کنم که اگر یادمان می‌آمد که هر کدام از ما یک زمانی یک سلول منفرد بودیم که از در همجوشی یک اسپرم و یک تخمک در لحظه بسته شدن نطفه به وجود آمده بود، توجه بیشتری به سلول‌ها نشان می‌دادیم.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

تقسیم سلولی همچنین روش‌های ظاهراً معجزه‌آسا را توجیه می‌کند که بدن از طریق آن‌ها خودش را درمان می‌کند. اگر دست خود را با لبه این برگه ببرید، تقسیم سلولی موضعی در اطراف آن بریدگی، زخم را ترمیم می‌کند و این گونه به حفظ بدنی سالم و تندرست کمک می‌نماید. با این حال، سرطان‌ها نقطه مقابل و شوم توانایی بدن برای به راه انداختن دورهای جدیدی از تقسیم سلولی می‌باشند. سرطان در اثر رشد کنترل نشده و تقسیم سلولی‌ای به وجود می‌آید که می‌تواند منجر به گسترش غده‌های بدخیم و آسیب دیدن یا حتی کشته شدن بدن گردد.

رشد، ترمیم، دژنراسیون^۵ و غده‌های بدخیم با تغییرات در خصوصیات سلول‌های مان به هنگام بیماری و سلامتی، در زمان جوانی و سنین پیری ارتباط دارند. در واقع اغلب بیماری‌ها ریشه در اختلال در عملکرد سلول‌ها دارند، و فهم اینکه چه چیز اشتباهی دارد در سلول‌ها رخ می‌دهد، زیربنایی می‌شود برای یافتن و بسط روش‌هایی جدید برای درمان امراض.

نظریه سلول به طور پیوسته بر روی مسیر تحقیقات در علوم زیستی و پزشکی تأثیر می‌گذارد. این نظریه مسیر زندگی من را هم شکل داده است. از زمانی که خود سیزده ساله‌ام از پشت میکروسکوپ زل زد و سلول‌های نوک ریشه پیاز را مشاهده کرد، در مورد سلول‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها کنجکاو بوده‌ام. هنگامی که من به عنوان یک محقق زیست‌شناسی شروع به کار کردم، تصمیم گرفتم که سلول‌ها را، و به خصوص نحوه تکثیر شدن سلول‌ها و کنترل تقسیم شدن‌شان را مطالعه کنم.

سلول‌هایی که در دهه ۱۹۷۰ کارم را با آن‌ها شروع کردم، سلول‌های مخمری بودند که اغلب مردم تصور می‌کنند که تنها به درد درست کردن نوشیدنی یا نان می‌خورند، و از عهده حل مشکلات بنیادین برنمی‌آیند. اما آن‌ها در واقع مدل بزرگی برای فهم نحوه عملکرد سلول‌های موجودات پیچیده‌تری می‌باشند. مخمر یک قارچ است، اما سلول‌های آن به طور شگفت‌انگیزی شبیه به سلول‌های جانوری و گیاهی می‌باشند. آن‌ها کوچک و نسبتاً ساده هستند، و هنگام تغذیه از مواد مغذی ساده، به سرعت و با کمترین هزینه رشد می‌کنند. در آزمایشگاه، ما آن‌ها را در حالی رشد می‌دهیم که در سوپ آبکی^۶ یا بر روی لایه‌ای از ژلاتین در یک ظرف پتری پلاستیکی به طور آزادانه‌ای شناور هستند، و کلونی‌های کرمی رنگی به عرض چند میلی‌متر و حاوی چندین میلیون سلول را به وجود می‌آورند. سلول‌های مخمر علی‌رغم و یا به بیان دقیق‌تر به خاطر سادگی‌شان، یاری‌گر ما در فهم نحوه تقسیم شدن سلول‌ها در اغلب موجودات زنده، از جمله سلول‌های انسان بوده‌اند. بسیاری از چیزهایی که ما در مورد تقسیم کنترل نشده سلول‌های سرطانی می‌دانیم، ابتدا از مطالعه همین مخمرهای حقیر به دست آمده‌اند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

سلول‌ها واحدهای بنیادین حیات می‌باشند. آن‌ها موجودات زنده منفردی هستند که به وسیله غشاهایی ساخته شده از لیپیدهای چربی مانندی احاطه شده‌اند. اما همان‌طور که اتم‌ها دارای الکترون و پروتون می‌باشند، سلول‌ها نیز اجزای کوچک‌تری دارند. امروزه میکروسکوپ‌های قوی‌ای وجود دارد و زیست‌شناسان از آن‌ها برای آشکار کردن ساختارهای پر جزئیات و اغلب بسیار زیبای درون سلول‌ها استفاده می‌کنند. بزرگ‌ترین این ساختارها را اندامک می‌نامند که هر کدام‌شان در لایه‌ای از غشای خودشان پیچیده شده‌اند. از میان آن‌ها، هسته اتاق فرمان سلول می‌باشد زیرا حاوی دستورالعمل‌هایی ژنتیکی است که در درون کروموزوم‌ها نوشته شده‌اند. حال آنکه میتوکندری‌ها - ممکن است صدها عدد از آن‌ها در درون بعضی از سلول‌ها وجود داشته باشد - مانند نیروگاه‌هایی مینیاتوری عمل می‌کنند و انرژی مورد نیاز سلول برای رشد و بقا را فراهم می‌کنند. مجموعه‌ای از دیگر محفظه‌ها و اتاقک‌های درون سلول‌ها مسئولیت اعمال پیچیده تدارکات، ساخت، تجزیه و بازیافت اجزای سلولی، و همچنین رفت و آمد مواد و مصالح به داخل و بیرون از سلول و جابجایی آن‌ها در فضای درون سلول را برعهده دارند.

اما سلول‌های همه موجودات زنده حاوی همه این اندامک‌های محصور در میان غشاء و ساختارهای درونی پیچیده نیستند. وجود یا عدم وجود یک هسته، حیات را به دو شاخه عمده تقسیم می‌کند. آن موجوداتی که سلول‌های‌شان دارای هسته می‌باشند - مانند جانوران، گیاهان و قارچ‌ها - را یوکاریوت می‌نامند. آن‌هایی که فاقد هسته می‌باشند و شامل باکتری‌ها و آرکئا^۷ می‌شوند را پروکاریوت می‌نامند. آرکئا از نظر اندازه و ساختار بسیار شبیه به باکتری‌ها به نظر می‌رسند، اما در حقیقت خویشاوندان دور آن‌ها می‌باشند. از بعضی جهات، فعالیت‌های مولکولی آن‌ها بیشتر شبیه به یوکاریوت‌هایی مانند ما می‌باشد تا شبیه به باکتری‌ها.

یک بخش جداً مهم از سلول، فارغ از یوکاریوت یا پروکاریوت بودن آن، غشای بیرونی سلول می‌باشد. این غشای بیرونی اگرچه تنها دو مولکول ضخامت دارد، اما «دیواری» یا سدی انعطاف‌پذیر ایجاد کرده است که هر سلول را از محیط اطرافش جدا کرده و «درون» و «بیرون» آن را تعریف می‌کند. این سد هم از نظر نظری و هم عملی، حیاتی است. در نهایت، این سد نشان می‌دهد که چرا اشکال حیات می‌توانند با موفقیت و همه‌جانبه در مقابل حرکت عالم به سمت بی‌نظمی و آشوب مقاومت کنند. سلول‌ها می‌توانند در درون این غشاهای عایق شده‌شان، نظم را که برای فعالیت بدان نیاز دارند، برقرار کرده و به وجود آورند، در حالی که همزمان موجب بی‌نظمی در محیط‌های محلی بیرون سلول می‌شوند. بدین گونه است که حیات، قانون دوم ترمودینامیک را نقض می‌کند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

همه سلول‌ها می‌توانند متوجه تغییرات درون‌شان در دنیای اطراف‌شان شده و به آن‌ها واکنش نشان دهند. بنابراین آن‌ها اگرچه جدای از محیطی هستند که در آن می‌زیند، اما ارتباط تنگاتنگی با محیط اطراف‌شان دارند. آن‌ها پیوسته فعال بوده و برای حفظ شرایط درونی‌شان چنان فعالیت می‌کنند که به آن‌ها اجازه زنده ماندن و رشد و نمو را می‌دهد. از این نظر، آن‌ها شبیه به موجودات زنده مرئی‌تری مانند آن پروانه‌ای که من در کودکی دیدم و یا خودمان می‌باشند.

در واقع سلول‌ها در بسیاری از ویژگی‌های‌شان با همه انواع جانوران، گیاهان و قارچ‌ها مشترک هستند. آن‌ها رشد کرده، تکثیر شده و خودشان را سرپا نگه می‌دارند، و در انجام همه این‌ها، یک جور هدف را از خود به نمایش می‌گذارند: یک جور ضرورت برای مقاومت، زنده ماندن و تکثیر شدن، و هر چه که پیش بیاید. همه این ویژگی‌ها در همه سلول‌ها، از باکتری‌هایی که لونه‌وک در بین دندان‌هایش یافت تا سلول‌هایی عصبی که به شما امکان خواندن این کلمات را می‌دهند، و در موجودات زنده مشترک می‌باشند. فهم نحوه فعالیت سلول‌ها، موجب درک بهتری از نحوه عملکرد حیات می‌شود.

قلب هستی سلول، ژن‌ها می‌باشند که در بخش بعدی به سراغ‌شان خواهیم رفت. هر سلول از این دستورالعمل‌های رمزگذاری شده برای ساختن و سازماندهی خودش استفاده می‌کند، و آن‌ها با تکثیر سلول‌ها و موجودات زنده، بایستی به نسل بعدی منتقل شوند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

۲. ژن

آزمون زمان

من دو دختر و چهار نوه دارم. همه آن‌ها به طور شگفت‌انگیزی منحصر بفرد می‌باشند. برای مثال، یکی از دخترهایم به نام سارا، تهیه‌کننده تلویزیونی است، و امیلی، دختر دیگرم پروفسور فیزیک است. اما آن‌ها ویژگی‌های مشترکی با یکدیگر، فرزندان‌شان و با من و همسرم دارند. شباهت‌های درون خانوادگی ممکن است قوی یا نامحسوس باشند - قد، رنگ چشم، انحناى دهان یا قوس بینی، حتی ادا و اطوارهایی خاص و حالت‌های چهره. در درون آن‌ها هم تنوع زیادی وجود دارد، اما پیوستگی بین نسل‌ها غیرقابل انکار می‌باشد.

وجود شباهت‌هایی بین والدین و فرزندان، یک خصوصیت بارز در میان همه موجودات زنده می‌باشد. این موضوع را مدت‌ها پیش، ارسطو و دیگر متفکران کلاسیک هم تشخیص دادند، اما مبنای وراثت زیست‌شناختی همچون یک راز بدقلق باقی ماند. طی سالیان متمادی، توجیه‌ها و توضیحات مختلفی مطرح شد که بعضی از آن‌ها امروز کمی عجیب و غریب به نظر می‌رسند. برای مثال ارسطو احتمال می‌داد که همان طوری که کیفیت خاکی بخصوص بر روی رشد گیاه حاصل از یک دانه تأثیر می‌گذارد، این فقط مادران هستند که بر رشد و نمو کودکان هنوز متولد نشده‌شان تأثیرگذار می‌باشند. دیگران فکر می‌کردند که قضیه به «امتزاج خون» ربط داشته باشد؛ این مفهوم که فرزندان، برآیندی از ویژگی‌های هر دو والدین را به ارث می‌برند. باید ژن کشف می‌شد تا مسیر درک واقع‌گرایانه‌تری از سازوکار وراثت هموار گردد. ژن‌ها علاوه بر فراهم کردن راهی برای درک اختلاط پیچیده شباهت‌ها و خصوصیات منحصر بفردی که در میان خانواده‌ها در جریان هستند، منبع مهمی از اطلاعاتی می‌باشند که حیات از آن‌ها برای ساختن، حفظ و تکثیر سلول‌ها استفاده می‌کند، و به تبع آن، موجودات زنده را از همین سلول‌ها به وجود می‌آورد.

گرگور مندل، راهب صومعه برنو که امروزه در جمهوری چک واقع شده است، اولین کسی بود که به چیزهایی درباره رمز و راز وراثت پی برد. اما او با مطالعه الگوهای غالباً گیج‌کننده وراثت در خانواده‌های انسانی به این رمز و رازها پی نبرد. بلکه او آزمایش‌های دقیقی را بر روی گیاهان نخود سبز انجام داد، و افکاری را در سرش پروراند که در نهایت منجر به کشف چیزهایی شد که امروزه آن‌ها را ژن می‌نامیم.

مندل اولین نفری نبود که از آزمایش‌هایی علمی برای پرسیدن سؤال‌هایی راجع به وراثت بهره می‌برد، و حتی اولین نفری هم نبود که از گیاهان برای یافتن پاسخ‌ها استفاده می‌کرد. پرورش‌دهندگان اولیه گیاهان قبلاً توضیح داده بودند که چگونه بعضی از ویژگی‌ها به روش‌های دور از انتظاری از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

ثمره حاصل از آمیزش بین دو گیاه والد متفاوت، شبیه به چیزی مانند امتزاج بین آن دو می‌باشند. برای مثال، آمیزش گیاه گل ارغوانی با گیاه گل سفید ممکن است منجر به به وجود آمدن گیاهی با گل‌های صورتی شود. اما به نظر می‌رسید که ویژگی‌های دیگری همیشه در نسلِ بخصوصی غالب باشند. در یک چنین وضعیت‌هایی، برای مثال همه فرزندان گیاه گل ارغوانی و گیاه گل سفید، گیاهانی گل ارغوانی می‌شدند. پیشگامان اولیه سرنخ‌های کنجکاو برانگیز زیادی جمع‌آوری کرده بودند، اما هیچ کدام از آن‌ها نتوانسته بودند به فهم رضایت‌بخشی درباره نحوه سازوکار وراثت ژنتیکی در گیاهان دست پیدا کنند، چه برسد به اینکه بتوانند توضیح بدهند که وراثت چگونه در همه موجودات زنده از قبیله ما انسان‌ها عمل می‌کند. اما این دقیقاً همان چیزی بود که مندل داشت با کار بر روی نخودهای سبز آشکارش می‌کرد.

من در ۱۹۸۱ در میانه جنگ سرد به سفری زیارتی به مقصد صومعه آگوستینی در برنو دست زدم تا از محل کار مندل بازدید کنم. مدت‌ها پیش از آن بود که آن‌جا مانند امروز تبدیل به جاذبه‌ای توریستی شود. باغ که بعدها توسعه داده شده بود، به طور شگفت‌انگیزی بزرگ بود. می‌توانستم به راحتی ردیف‌هایی متوالی از نخودهای سبزی را تصور کنم که مندل یک زمانی مبادرت به پرورش‌شان کرده بود. او در دانشگاه وین علوم فیزیکی^۱ خوانده بود، اما نتوانسته بود نمرات لازم برای معلمی را کسب کند. با این وجود، او چیزهایی را از دوران تحصیلاتش به یاد داشت. او به وضوح می‌دانست که به تعداد زیادی داده نیاز دارد: احتمال اینکه نمونه‌های بزرگ پرده از الگوهای مهمی بردارند، بیشتر است. بعضی از این آزمایش‌ها ۱۰،۰۰۰ گیاه متفاوت نخود سبز را دربرمی‌گرفتند. هیچ کدام از پرورش‌دهندگان پیش از او، یک چنین رویکرد کمی بسیار دقیق و جامعی را درپیش نگرفته بودند.

مندل برای کاستن از پیچیدگی آزمایش‌هایش، فقط بر روی ویژگی‌هایی تمرکز کرد که تفاوت‌هایی واضح و آشکار را از خود نشان می‌دادند. او برای چندین سال به دقت نتایج تلقیح‌هایی را که ترتیب داده بود، ثبت و ضبط می‌کرد، و متوجه الگوهایی شد که مورد بی‌توجهی دیگران قرار گرفته بودند. از همه مهم‌تر، او نسبت‌های ریاضیاتی متمایزی را در میان گیاهان نخود سبزی مشاهده کرد که یا ویژگی‌های خاصی از قبیله رنگ گل یا شکل دانه را نشان می‌دادند یا فاقد آن‌ها بودند. یکی از کارهای مهمی که مندل انجام داد، بیان این نسبت‌ها از طریق سری‌های ریاضیاتی بود. این موضوع او را بر آن داشت تا مطرح کند که گرده‌های نر و تخمک‌های ماده گل‌های نخود سبز، حاوی چیزهایی هستند که او آن‌ها را «عناصر» نامید که این عناصر با خصوصیات متفاوت گیاهان والد ارتباط داشتند. وقتی که این عناصر طی تلقیح به همدیگر می‌پیوندند، بر روی خصوصیات نسل بعدی از گیاهان تأثیر می‌گذارند. اما مندل

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

نمی دانست که این عناصر چه هستند و احتمالاً چگونه عمل می کنند. با تلاقی کنجکاوی برانگیزی، زیست شناس مشهور دیگری چون چارلز داروین هم همزمان با مندل در حال مطالعه بر روی تلقیح گل های میمونی بود. او نسبت های مشابهی را در میان این گیاهان مشاهده کرد، اما تلاشی برای تفسیر معنای احتمالی آن ها نکرد. به هر حال، کار مندل به کلی توسط معاصرانش نادیده گرفته شد و یک نسل کامل طول کشید تا او جدی گرفته شود.

بعدها در حوالی سال ۱۹۰۰، زیست شناسان دیگری مستقلاً نتایج مندل را تکرار کردند، آن ها را بسط و گسترش دادند، و دست به پیش بینی های صریح تری درباره «نحوه عملکرد احتمالی وراثت زدند. این موضوع منجر به نظریه مندلیسم (که این اسم را به افتخار راهب پیشگام بر آن گذارده بودند) و تولد ژنتیک شد. حالا دیگر دنیا کم کم داشت از خود توجه نشان می داد.

مندلیسم پیشنهاد می دهد که خصوصیاتِ موروثی به وسیله ذراتی فیزیکی تعیین می شوند که به صورت جفت جفت وجود دارد. این «ذرات»، همان چیزهایی هستند که مندل آن ها را «عناصر» نامیده بود و ما امروزه آن ها را ژن می نامیم. مندلیسم حرف چندانی درباره ماهیت این ذرات بیان نداشته است، اما به روش بسیار دقیقی توضیح داده است که آن ها چگونه بین نسل ها منتقل می شوند. و مهم تر از همه اینکه به تدریج مشخص شد که این نتایج را نه فقط به نخودهای سبز، بلکه به همه گونه هایی که تولید مثل جنسی دارند، از مخمرها تا انسان و همه موجودات زنده بین آن ها می توان نسبت داد. هر کدام از ژن های شما، به صورت یک جفت وجود دارند؛ شما هر کدام شان را از یکی از والدین زیستی تان به ارث می برید. آن ها از طریق اسپرم و تخمکی که در لحظه بسته شدن نطفه تان با یکدیگر همجوشی پیدا می کنند، به شما انتقال داده می شوند.

طی یک سوم پایانی قرن نوزدهم که کشفیات مندل مورد توجه قرار گرفته بودند، علم نیز بیکار نمانده بود. به خصوص اینکه محققان سرانجام بر آن شدند تا نگاه دقیق تری به سلول ها طی فرایند تقسیم سلولی بیندازند. وقتی این مشاهدات در نهایت به ذرات ارثی مطرح شده از سوی مندلیسم پیوستند، نگاه دقیق تری به نقش مرکزی ژن در حیات انداخته شد.

اولین سرنخ، کشف ذراتی میکروسکوپی در درون سلول ها بود که به نخ های باریکی می مانستند. اولین بار در دهه ۱۸۷۰ بود که یک پزشک آلمانی ارتش به نام والتر فلمینگ که زیست شناس سلولی شده بود، به آن ها اشاره کرده بود. او با کمک بهترین میکروسکوپ های زمانه اش رفتارهای کنجکاو برانگیز این نخ های میکروسکوپی را توصیف کرد. فلمینگ مشاهده کرد وقتی که یک سلول آماده تقسیم می شود، دو نیمه

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این نخ‌ها به صورت طولی از هم باز می‌شوند؛ و سپس کوتاه تر و کلفت تر می‌گردند. بعد وقتی که سلول به دو نیم تقسیم شد، نخ‌ها به گونه‌ای از هم «جدا می‌شوند» که در نهایت هر نیمه‌شان در یکی از سلول‌های دختری^۹ جدید قرار می‌گیرند. آنچه که فلمینگ داشت مشاهده‌اش می‌کرد اما در زمانه خودش کاملاً درک نشد، نمودهای فیزیکی ژن‌ها، ذرات موروثی پیشنهاد شده توسط مندلیسم بودند. امروزه ما «نخ‌ها» ی فلمینگ را کروموزوم می‌نامیم. کروموزوم‌ها، ساختارهایی فیزیکی هستند که در همه سلول‌های حاوی ژن مشاهده می‌شوند. در همان زمان‌ها، سرنخ حیاتی دیگری درباره ژن‌ها و کروموزوم‌ها از منبعی باور نکردنی سر بر آورد: تخم‌های بارور شده کرم لوله‌ای^{۱۰} انگلی. وقتی زیست‌شناس بلژیکی، ادوارد فن بدن اولین مراحل از رشد و نمو کرم لوله‌ای را بررسی می‌کرد، از پشت میکروسکوپش مشاهده کرد که اولین سلول‌های هر رویان به تازگی بارور شده، حاوی چهار کروموزوم است. آن سلول، دو تا از آن‌ها را از تخمک و دو تا را از اسپرم گرفته است.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این دقیقاً منطبق بر پیشگویی‌های مندلیسم بود - دو گروه از ژن‌های جفت شده که در لحظه باروری به هم پیوسته‌اند. از آن زمان، نتایج فن‌بندن بارها بارها تأیید شدند. نیمی از کروموزوم‌ها در تخمک و نیمی دیگر در اسپرم قرار دارند، و با به وجود آمدن یک تخم بارور شده حاصل از همجوشی این دو سلول، تمامی کروموزوم‌ها تشکیل می‌شوند. امروزه ما می‌دانیم که این مواردی که بدن درباره تولید مثل جنسی در کرم‌های لوله‌ای مشاهده کرد، در مورد حیات همه یوکاریوت‌ها از جمله ما انسان‌ها هم صادق هستند.

تعداد کروموزوم‌ها بسیار متفاوت می‌باشد: در هر سلول گیاه نخود سبز ۱۴ کروموزوم وجود دارد، و ما انسان‌ها ۴۶ کروموزوم داریم. سلول‌های پروانه آبی ساتن بیش از ۴۰۰ کروموزوم دارند. شانس با فن‌بندن یار بود که کرم‌های لوله‌ای تنها چهار کروموزوم دارند. اگر آن‌ها کروموزوم‌های بیشتری داشتند، او به راحتی از پس شمارش‌شان بر نمی‌آمد. فن‌بندن با بررسی دقیق مورد نسبتاً ساده کرم لوله‌ای، نگاهی به حقیقت عام‌تری درباره وراثت ژنتیکی انداخت. برای رسیدن به درکی گسترده‌تر و عام‌تر درباره چگونگی سازوکار حیات، باید کار را با آزمایش به وضوح قابل تفسیری بر روی یک سیستم زیست‌شناختی ساده شروع کنیم. دقیقاً به همین دلیل بود که من به جای مطالعه سلول‌های پیچیده‌تر انسانی، بیشتر عمر حرفه‌ای خودم را صرف تحقیق درباره سلول‌های ساده مخمری کرده‌ام که به سادگی قابل مطالعه می‌باشند.

با در کنار هم قرار دادن اکتشافات انجام شده توسط فلمینگ و فن‌بندن، مشخص گردید که کروموزوم‌ها عامل انتقال ژن‌ها در بین نسل‌های مختلفی از سلول‌های در حال تقسیم، و همچنین بین نسل‌های مختلفی از همه موجودات زنده می‌باشند. به جز چند استثنای بخصوص - مانند سلول‌های قرمز خون که به هنگام بلوغ، کل هسته و بنابراین همه ژن‌های‌شان را از دست می‌دهند - هر کدام از سلول‌های موجود در بدن مان، دارای یک رونوشت از کل مجموعه ژن‌های مان می‌باشد. همه این ژن‌ها در کنار یکدیگر، نقش بزرگی در پیش بردن رشد بدنی کامل از سلول تخم بارور شده تنها ایفا می‌کنند. و ژن‌ها در طول عمر هر موجود زنده، اطلاعات ضروری مورد نیاز برای ساختن و حفظ سلول را در اختیار هر کدام از سلول‌ها قرار می‌دهند. بنابراین هر بار که یک سلول تقسیم می‌شود، باید از کل مجموعه ژن‌ها رونوشت برداشته شود و آن‌ها به طور مساوی بین دو سلول تازه ایجاد شده به اشتراک گذاشته شوند. این بدین معنی است که تقسیم سلولی، مثالی پایه‌ای از تکثیر در زیست‌شناسی می‌باشد.

چالش بزرگ بعدی برای زیست‌شناسان، فهمیدن این بود که ژن‌ها واقعاً چیستند و چگونه کار می‌کنند. اولین مجموعه بزرگ از اطلاعات در سال ۱۹۴۴ به دست آمد که جمع کوچکی از دانشمندان در نیویورک به رهبری اسوالد آوری میکروبیولوژیست،

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

آزمایشی را برای شناسایی ماده سازنده ژن‌ها پیش بردند. آوری و همقطارانش داشتند بر روی باکتری عامل سینه پهلوی مطالعه می‌کردند. آن‌ها می‌دانستند که سویه‌های^{۱۱} بی‌خطر این باکتری می‌توانند با در آمیختن با بقایای سلول‌های مرده یک سویه کشنده، به اشکال کشنده و خطرناک تبدیل شوند. اهمیت این موضوع در این است که این تغییر، موروثی می‌باشد؛ به محض اینکه باکتری‌ها کشنده شدند، آن ویژگی را به همه فرزندان و نوادگان‌شان منتقل می‌کنند. این موضوع آوری را بر آن داشت که استدلال کند که یک ژن یا ژن‌هایی که به مثابه موادی شیمیایی از بقایای باکتری‌های مرده و مضر به باکتری‌های زنده و بی‌خطر منتقل شده‌اند، ماهیت آن‌ها را تا ابد تغییر می‌دهند. او می‌دانست که اگر بتواند بخشی از باکتری مرده را که مسئول این تغییر «ژنتیکی» است پیدا کند، سرانجام می‌تواند به جهانیان نشان دهد که ژن از چه چیزی ساخته شده است.

در واقع مشخص شد که این عنصر سازنده، دئوکسی ریبونوکلیک اسید - که احتمالاً آن را با مخفف مشهورترش، DNA می‌شناسید - بود که ویژگی کلیدی و مهم آن، قابلیت تغییرش می‌باشد. در آن زمان، همگان می‌دانستند که کروموزوم‌های حامل ژن‌ها در درون سلول‌ها، حاوی DNA می‌باشند. اما اغلب زیست‌شناسان تصور می‌کردند که DNA برای اینکه مسئول پدیده پیچیده‌ای همچون توارث باشد، مولکول بسیار ساده و کسل‌کننده‌ای است. اما آن‌ها در اشتباه بودند.

در درون هر کدام از کروموزوم‌های شما، یک مولکول منفرد و منظم DNA وجود دارد. آن‌ها می‌توانند بسیار بسیار دراز باشند و هر کدام‌شان می‌تواند حاوی صدها و یا حتی هزاران ژنی باشد که زنجیروار، یکی پس از دیگری چیده شده‌اند. برای مثال، کروموزوم شماره ۲ انسان حاوی ریسمانی با بیش از ۱۳۰۰ ژن مختلف می‌باشد، و اگر آن قطعه از DNA را بیرون بکشید، بیش از ۸ سانتیمتر طول دارد. بدین ترتیب به رقم عجیب و غریبی می‌رسیم: ۴۶ کروموزوم موجود در هر سلول کوچک در بدن مان، سرجمع DNA ای به طول بیش از ۲ متر دارند. به واسطه معجزه بسته‌بندی، همه این‌ها در سلولی جا می‌شوند که قطر آن بیش از چند هزارم یک میلی‌متر هم نیست. علاوه بر این، اگر بتوانید آن‌ها را یکجوری به همدیگر وصل کنید و بعد همه DNA های جمع شده در درون چند تریلیون سلول بدن‌تان را بیرون بکشید و به صورت یک نخ منفرد و باریک در آورید، چیزی حدود ۲۰ میلیارد کیلومتر طول آن خواهد بود. این نخ آنقدر طولانی هست که بتوان با آن فاصله بین زمین و خورشید را ۶۵ بار رفت و برگشت!

آوری مرد محبوب و متواضعی بود و در حالی که بعضی از زیست‌شناسان به نتیجه‌گیری‌های او ایراد وارد می‌کردند، وی به خاطر کشف‌اش هیاهوی چندانی به

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

راه نینداخت. اما حق با او بود: ژن‌ها از DNA ساخته شده‌اند. وقتی که بالاخره به حقیقت پی برده شد، آن را نشانه تولد عصر جدیدی برای علم ژنتیک و به طور کلی زیست‌شناسی شناختند. بالاخره می‌شد ژن‌ها را به مثابه موادی شیمیایی درک کرد: مجموعه ثابتی از اتم‌ها که از قوانین فیزیک و شیمی تبعیت می‌کنند.

اما این توضیح ساختار DNA در ۱۹۵۳ بود که حقیقتاً منجر به این عصر جدید ^{۱۲} شد. بیشتر کشفیات مهم در علم زیست‌شناسی متکی به کار دانشمندان زیادی است که طی سالیان یا دهه‌ها با ماهیت واقعیّت سرو کله زده‌اند تا به تدریج حقیقت مهمی را آشکار سازند. اما گاهی اوقات ما بسیار سریع به شناخت و درکی خارق العاده دست پیدا کردیم. در مورد ساختار DNA نیز همین امر صادق بود. طی چند ماه، سه دانشمند که در لندن کار می‌کردند - روزالیند فرانکلین، ریموند گاسلینگ و موریس ویلکینز - آزمایش‌های مهم و سرنوشت‌سازی را انجام دادند، و سپس فرانسیس کریک و جیمز واتسون از کمبریج، داده‌های آزمایشگاهی را تفسیر کرده و ساختار DNA را به درستی کشف کردند. علاوه بر این، آن‌ها به سرعت دریافتند که این ساختار برای حیات چه معنایی دارد.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

بعدها وقتی که آنها پا به سن گذاشتند، من با کریک و واتسون آشنایی زیادی پیدا کردم. آنها یک زوج متضاد بودند. فرانسیس کریک باهوش بود و ذهنی تیز و منطقی داشت. او مسائل را آنقدر حلاجی می کرد تا اینکه آرام آرام حل می شدند. جیمز واتسون بینشی درخشان داشت، و ناگهان به نتیجه گیری هایی می رسید که از چشمان بقیه مغفول مانده بودند، اگرچه همیشه معلوم نبود که چگونه به آنها رسیده است. هر دوی آنها با اعتماد به نفس و صریح بودند، و اگرچه گاهی اوقات بسیار نقاد بودند، اما ارتباطات زیادی با دانشمندان جوان داشتند. آنها در کنار یکدیگر، ترکیب پرابهتی بودند.

زیبایی حقیقی الگوی ماریچ دو گانه DNA که آنها پیشنهادش دادند، به خاطر وقار خود ساختار آن نیست که به زیبایی به شکل ماریچ در آمده است. بلکه بدین خاطر است که این ساختار قادر است دو چیز مهم و کلیدی را که مواد موروثی باید برای تضمین بقا و استمرار حیات انجام دهند، توضیح دهد. اول اینکه DNA باید اطلاعات مورد نیاز برای رشد، حفظ و تکثیر سلول ها و کل موجودات زنده را رمزگذاری کند. دوم اینکه باید بتواند با دقت و اطمینانی بالا، طوری خودش را همانندسازی کند که هر سلول جدید و هر موجود زنده جدیدی بتواند مجموعه کاملی از دستورالعمل های ژنتیکی را به ارث ببرد.

ساختار ماریچی DNA که ممکن است شما را به یاد یک نردبان پیچ خورده بیندازد، هر دوی این کارکردهای مهم را توضیح می دهد. بیایید ببینیم که DNA چگونه اطلاعات را منتقل می کند. هر کدام از پله های نردبان، از اتصال بین جفت مولکول هایی شیمیایی به نام بازهای نوکلئوتیدی به وجود آمده اند. این بازها تنها از چهار نوع مختلف تشکیل شده اند؛ آدنین، تیمین، گوانین و سیتوزین که به ترتیب با علائم اختصاری A، T، G و C نشان داده می شوند. ترتیب قرار گرفتن این چهار باز در طول هر کدام از دو نرده یا رشته نردبان DNA، مانند یک رمز حاوی اطلاعات عمل می کند. این یعنی از طریق خواندن عبارتی که توسط این رشته منظم و مرتب حروف درست شده است، پیامی انتقال داده می شود. هر ژن، قطعه مشخصی از این رمز DNA است که حاوی پیامی برای سلول می باشد. برای مثال این پیام ممکن است دستورالعملی برای تولید رنگدانه ای باشد که رنگ چشمان فرد را تعیین می کند، سلول های یک گل نخود سبز را به رنگ ارغوانی در می آورد، یا باکتری سینه پهلوی را کشنده تر می کند. سلول از طریق «قرائت» این رمزهای ژنتیکی، این پیام ها را از DNA می گیرد و آن اطلاعات را به کار می بندد.

حالا باید از دقت و صحت رونوشت های DNA اطمینان پیدا کنیم، تا همه اطلاعات موجود در ژن ها بتوانند با رعایت اصل امانت از یک نسل از سلول ها یا موجودات زنده

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

به نسل بعدی انتقال داده شوند. شکل و ویژگی‌های شیمیایی دو بازی که مشترکاً هر کدام از پله‌های نردبان را ساخته‌اند، اطمینان می‌دهد که این بازها تنها به یک طریق می‌توانند در کنار یکدیگر جفت شوند. A فقط می‌تواند با T، و G نیز فقط می‌تواند با C جفت شود. این بدین معنی است که اگر شما ترتیب بازهای یک رشته از DNA را بدانید، بلافاصله از ترتیب بازهای رشته مقابل هم مطلع شده‌اید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگر شما ماریچ دو گانه را به دو رشته بشکنید، هر رشته می‌تواند به مثابه الگویی برای بازتولید یک رونوشت تمام عیار از جفت رشته اصلی‌اش ایفای نقش کند. کریک و واتسون به محض اینکه به نحوه ساختن DNA پی بردند، متوجه شدند که سلول‌ها به همین روش، از DNA ی تشکیل دهنده کروموزوم‌ها و ژن‌های‌شان رونوشت برمی‌دارند.

ژن‌ها با دیکته کردن نحوه ساخت پروتئین‌هایی خاص به سلول، بیش‌ترین تأثیر را بر روی رفتار سلول‌ها و در نهایت بر روی کل موجودات زنده دارند. این اطلاعات، در مرکز حیات قرار دارند، زیرا پروتئین‌ها بیشترین کار را در سلول‌ها انجام می‌دهند - بیشتر آنزیم‌های سلول، ساختارها و سازوکارهای عملیاتی، از پروتئین‌ها به وجود آمده‌اند. سلول‌ها برای این منظور، دو الفبا را به یکدیگر ترجمه می‌کنند: الفبای چهار حرفی DNA که از «حروف» A، T، G و C تشکیل شده است، و الفبای پیچیده‌تر پروتئین‌ها که متشکل است از رشته‌های منظم ۲۰ بلوک ساختمانی مختلف به نام آمینواسید. در اوایل دهه ۱۹۶۰، بود که از روابط بنیادین بین ژن‌ها و پروتئین‌ها اطلاع پیدا کردیم، اما هیچ کسی نمی‌دانست که سلول چگونه اطلاعات را از زبان DNA به زبان پروتئین‌ها ترجمه می‌کند.

این روابط که به نام «رمز ژنتیکی» می‌شناسیم‌شان، یک معمای رمزنگاری شده واقعی را در مقابل زیست‌شناسان قرار داد. رمز این معما سرانجام در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ توسط مجموعه‌ای از محققان شکسته شد. من فرانسیس کریک و سیدنی برنر را بیشتر از بقیه می‌شناسم. سیدنی شوخ طبع‌ترین و بی‌ادب‌ترین دانشمندی است که تا به حال دیده بودم. او یک بار با من مصاحبه‌ای شغلی انجام داد (که من در آن پذیرفته نشدم)؛ او طی آن مصاحبه، همکارانش را با مقایسه آن‌ها با اشکال تابلوی گرنیکای پیکاسو که از دیوار دفترش آویزان بود، توصیف می‌کرد. او از طریق در کنار هم قرار دادن چیزهای غیرمنتظره، طنزش را به وجود می‌آورد، و من فکر می‌کنم که این طنز، منبع خلاقیت بیکران او به عنوان یک دانشمند بود.

این‌ها و دیگر رمزگشاها نشان دادند که الفبای DNA، به صورت «کلماتی» سه حرفی در طول هر کدام از رشته‌های نردبان DNA چیده شده‌اند، و بیشتر این کلمات کوتاه، به یک بلوک آمینواسید تشکیل دهنده یک پروتئین مربوط می‌شوند. برای مثال «کلمه

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

GCT در DNA، به سلول می‌گوید که باید یک آمینو اسید به نام آلانین را به پروتئینی جدید اضافه کند؛ در حالی که TGT، آمینو اسیدی به نام سیستئین را فرا می‌خواند. می‌توانید ژن را به صورت توالی‌ای از حروف DNA ببینید که برای ساختن یک پروتئین خاص بدن نیاز داریم. برای مثال، در انسان ژنی به نام بتا-گلوبین وجود دارد که اطلاعات ضروری‌اش را در ۴۴۱ «حرف» DNA (یعنی بازهای نوکلئوتیدی) قرار داده است که به ۱۴۷ «کلمه سه حرفی DNA تقسیم شده‌اند. سلول آن را به یک مولکول پروتئینی ترجمه می‌کند که طولش معادل ۱۴۷ آمینواسید می‌باشد. در این مثال، پروتئین بتا-گلوبین به تشکیل رنگدانه‌های حامل اکسیژنی کمک می‌کند که هموگلوبین نامیده می‌شوند؛ هموگلوبین‌ها که در گلبول‌های قرمز خون یافت می‌شوند، بدن‌تان را سرپا و زنده نگاه می‌دارند و خون‌تان را به رنگ قرمز درمی‌آورند. توانایی درک رمز ژنتیکی، راز بنیادین و مهمی در دل زیست‌شناسی را گشود. این موضوع نشان داد که چگونه دستورالعمل‌های ایستای ذخیره شده در ژن‌ها، می‌توانند به مولکول‌های فعال پروتئینی تبدیل شوند که سلول‌های زنده را می‌سازند و به راه می‌اندازند. شکستن این رمز، راهی به سوی دنیای امروزی را هموار ساخت که در آن، زیست‌شناسان می‌توانند به سهولت توالی‌های ژنی را توصیف، تفسیر و اصلاح کنند. در آن زمان، این پیشرفت به قدری مهم بود که بعضی از زیست‌شناسان ابزارهای‌شان را به کناری گذاشتند؛ زیرا نتیجه گرفته بودند که اکنون مهم‌ترین و اساسی‌ترین مسائل زیست‌شناسی سلولی و ژنتیک حل شده‌اند. حتی فرانسیس کریک هم تصمیم گرفت که تمرکش را از روی سلول‌ها و ژن‌ها برداشته و متوجه اسرار ذهن آدمی کند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

امروزه، بعد از گذشت بیش از پنجاه سال، معلوم شده است که همه کارها انجام نشده‌اند و باید گردگیری‌هایی صورت بگیرد. با این وجود، زیست‌شناسان به پیشرفت هیجان‌انگیزی دست زده بودند. در خلال یک قرن، ژن - که به مثابه عنصری انتزاعی - از اساس تغییر کرده بود. وقتی که من دوره دکترا را در ۱۹۷۳ به پایان بردم، ژن دیگر فقط یک مفهوم یا بخشی از یک کروموزوم نبود. بلکه رشته‌ای از بازهای نوکلئوتیدی DNA بود که پروتئینی را با وظایف دقیقی در سلول رمزگذاری کرده است.

زیست‌شناسان خیلی زود یاد گرفتند که چگونه بفهمند که ژن‌هایی خاص در کجای کروموزوم قرار گرفته‌اند، آن‌ها را از سر جای‌شان بیرون بکشند و در بین کروموزوم‌ها جابجا کنند؛ حتی آن‌ها را در درون کروموزوم‌های گونه‌های متفاوتی قرار بدهند. برای مثال در اواخر دهه ۱۹۷۰، کروموزوم‌های باکتری‌های *E. coli* ^{۱۳} را به گونه‌ای دستکاری کردند که حاوی ژن تولیدکننده پروتئین انسولین - تنظیم‌کننده قند خون - بشود. این باکتری‌های تراریخته (GM) ^{۱۴} به مقدار زیاد و به طور مقرون به صرفه‌ای نسخه‌ای از پروتئین انسولین را تولید می‌کنند که دقیقاً عین همان پروتئین انسولینی است که توسط لوزالمعده انسان ساخته می‌شود. از آن زمان تاکنون آن‌ها به میلیون‌ها نفر در سرتاسر جهان کمک کرده‌اند تا دیابت‌شان را کنترل کنند.

طی دهه ۱۹۷۰، زیست‌شیمی‌دان بریتانیایی، فرد سانگر به هنگام یافتن راهی برای «قرائت» اطلاعات ژنتیکی، ابداع مهم دیگری انجام داد. او برای شناسایی ماهیت و توالی همه بازهایی نوکلئوتیدی که یک ژن را می‌سازند (که آن را توالی‌یابی DNA می‌نامند)، ترکیبی مبتکرانه از روش‌های فیزیکی و واکنش‌های شیمیایی را به کار گرفت. تعداد حرف‌های DNA در ژن‌های مختلف، نوسانات بسیار زیادی دارد (از دویست باز تا هزاران باز)، و توانایی قرائت آن‌ها و پیش‌بینی نوع پروتئینی که آن‌ها تولید می‌کنند، قدم بزرگی رو به جلو بود. فرد همان‌طور که فوق‌العاده متواضع بود همان‌طور هم فوق‌العاده ماهر، دوبار هم برنده جایزه نوبل شد.

در اواخر قرن بیستم توانستیم توالی کل ژنوم‌ها - مجموعه کاملی از ژن‌ها یا موادی ژنتیکی که در یک سلول یا موجود زنده وجود دارد - از جمله ژنوم خودمان را تعیین کنیم. توالی‌یابی همه سه میلیارد حرف DNA ی ژنوم انسان، کم و بیش به طور کامل در ۲۰۰۳ تعیین شد. این موضوع، قدم مهمی برای زیست‌شناسی و پزشکی به حساب می‌آمد. در حالی که تعیین توالی اولین ژنوم یک دهه به طول انجامید و بیش از ده میلیارد پوند خرج برداشت، اما ماشین‌های امروزی توالی‌یابی DNA می‌توانند همین کار را در عرض یکی دو روز و به بهای چند صد پوند انجام بدهند.

مهم‌ترین دستاورد پروژه اصلی ژنوم انسان، تهیه فهرستی از حدوداً ۲۲,۰۰۰ ژن مشترک در میان انسان‌ها بود که پروتئین‌ها در آن‌ها رمزگذاری شده بودند، و پایه و

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

اساس وراثت را در ما تشکیل می‌دادند. آن‌ها هم ویژگی‌های مشترک در میان همهٔ ما انسان‌ها، و هم خصوصیات موروثی‌ای را تعیین می‌کنند که ما را به افرادی متمایز مبدل می‌کنند. این دانش به تنهایی برای توضیح ماهیت انسان بودن کافی نیست، اما بدون آن، درک ما از آن همواره ناقص خواهد ماند. تا حدودی مثل این می‌ماند که فهرستی از شخصیت‌های یک نمایشنامه را در دست داشته باشیم؛ این فهرست نقطهٔ شروعی الزامی است، اما وظیفهٔ بعدی و بزرگ‌تر، نوشتن نمایشنامه و یافتن بازیگرانی است که به آن شخصیت‌ها جان ببخشند.

فرایند تقسیم سلولی، نقشی اساسی در برقراری پیوند بین «سلول» و «ژن» دارد. هر بار که سلول تقسیم می‌شود، ابتدا باید از همهٔ ژن‌های کروموزوم‌های درون آن سلول رونوشتی برداشته شود و بعد به طور مساوی بین دو سلول دختری تقسیم گردند. بنابراین رونوشت برداشتن از ژن‌ها و تقسیم سلولی باید به طور تنگاتنگی با هم هماهنگ شوند. اگر این هماهنگی صورت نگیرد، منجر به سلول‌هایی می‌شود که یا می‌میرند یا دچار اختلال در عملکرد می‌شوند. زیرا آن‌ها فاقد مجموعهٔ کاملی از دستورالعمل‌های ژنتیکی مورد نیاز می‌باشند. این هماهنگی، به وسیلهٔ چرخهٔ سلولی میسر می‌گردد؛ فرایندی که تولد هر سلول جدیدی را هدایت می‌کند.

در اوایل چرخهٔ سلولی، طی دورهٔ سنتز DNA که فاز S نامیده می‌شود، از DNA رونوشت برداشته می‌شود. و جدا شدن کروموزوم‌های به تازگی رونوشت شده، در دورهٔ آخر و طی فرایندی به نام میتوز اتفاق می‌افتد. این امر تضمین می‌کند که دو سلول جدید تولید شده طی تقسیم سلولی، هر کدام‌شان دارای ژنوم کاملی باشند. این اتفاقات رخ داده طی چرخهٔ سلولی، جنبهٔ مهمی از حیات را به تصویر می‌کشد: پایه و اساس همهٔ آن‌ها، واکنش‌های شیمیایی و چه بسا واکنش‌هایی بسیار پیچیده می‌باشند. این واکنش‌ها را به تنهایی نمی‌توان زنده به حساب آورد. این فرایند تنها زمانی شروع به کار می‌کند که همهٔ این صدها واکنش مورد نیاز برای خلق یک سلول جدید، همراه با یکدیگر به راه بیفتند و سیستم کاملی را به وجود آورند که هدف خاصی را دنبال می‌کند. چرخهٔ سلول نیز همین کار را برای سلول انجام می‌دهد: به شیمی همانندسازی DNA جان می‌بخشد و در این مسیر، هدف تکثیر سلول را نیز محقق می‌سازد.

من در اوایل دههٔ بیست زندگی‌ام، وقتی که فارغ التحصیلی از دانشگاه ایست آنجلیا در نورویچ بودم و به دنبال پروژه‌ای تحقیقاتی برای ادامهٔ مسیر علمی خود می‌گشتم، کم‌کم متوجه اهمیت بنیادین چرخهٔ سلولی برای درک حیات شدم. اما فکرش را هم نمی‌کردم که پروژه‌ای تحقیقاتی که در دههٔ ۱۹۷۰ شروع کرده بودم، برای بخش اعظمی از زندگی‌ام، به شور و شوقی برای تحقیق مبدل شود.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

چرخه سلولی مانند اغلب فرایندهای دیگری که در طول حیات سلول اتفاق می‌افتند، به وسیله ژن‌ها و پروتئین‌های ساخته شده توسط آن‌ها پیش برده می‌شود. طی این سالیان، جاه‌طلبی‌ای که راهنمای من در آزمایشگاهم بوده است، شناسایی ژن‌های ویژه‌ای که چرخه سلولی را به پیش می‌برند و سپس یافتن نحوه عملکرد آن‌ها بوده است. برای این منظور، ما از مخمر شکافدار^{۱۵} (گونه‌ای از مخمر که در افریقای شرقی از آن برای تولید آبجو استفاده می‌کنند) بهره بردیم، زیرا اگرچه نسبتاً ساده می‌باشد، اما چرخه سلولی آن شباهت زیادی به چرخه‌های سلولی بسیاری از موجودات زنده دیگر، از قبیل موجودات چندسلولی و بسیار بزرگتری مانند خودمان دارند. ما در نظر داشتیم که سویه‌هایی از مخمرها را پیدا کنیم که دارای اشکال جهش‌یافته‌ای از ژن‌های دخیل در چرخه سلولی باشند.

متخصصان ژنتیک، کلمه جهش‌یافته (mutant) را از منظر خاص و متفاوتی به کار می‌برند. یک ژن جهش‌یافته الزاماً ژنی ناهنجار یا معیوب نیست؛ خیلی ساده، به معنی نوع متفاوتی از یک ژن است. سویه‌های مختلفی از گیاهانی که مندل با هم تلقیح می‌کرد، مثلاً گیاهان با گل‌های ارغوانی و با گل‌های سفید، با یکدیگر تفاوت دارند. زیرا آن‌ها به جهش‌های متفاوتی از ژنی تعلق دارند که در تعیین رنگ گل نقش مهمی ایفا می‌کند. دقیقاً براساس همین منطق، آدم‌هایی با رنگ چشم‌های مختلف را می‌توان سویه‌های خاصی از انسان به حساب آورد. معنی ندارد که بگوییم باید کدام یک از این جهش‌های مختلف را «نرمال» در نظر بگیریم.

جهش‌ها زمانی رخ می‌دهند که توالی DNA ی یک ژن تغییر کرده، بازآرایی یا حذف شده باشند. جهش معمولاً یا نتیجه آسیب دیدن سلول - برای مثال به وسیله تابش فرابنفش یا آسیب شیمیایی - است و یا به سبب خطاهایی تصادفی ایجاد می‌شود که ممکن است طی فرایندهای همانندسازی DNA و تقسیم سلولی رخ دهند. سلول سازوکارهای پیچیده‌ای برای شناسایی و تصحیح بیشتر این اشتباهات دارد، و این یعنی جهش‌ها به ندرت اتفاق می‌افتند. براساس برخی از تخمین‌ها، هر بار که یکی از سلول‌های تان تقسیم می‌شوند، بطور میانگین فقط سه جهش کوچک رخ می‌دهد: حدود یک در یک میلیارد حرف از DNA که رونویسی می‌شوند، که این میزان خطا به طور قابل ملاحظه‌ای کم است. اما وقتی که جهش رخ داد، آن‌ها می‌توانند اشکال متفاوتی از ژن‌ها را به وجود بیاورند که منجر به تولید پروتئین‌هایی تغییر یافته می‌شوند، و آن‌ها نیز به نوبه خود، می‌توانند زیست‌شناسی سلول‌هایی که آن‌ها را به ارث می‌برند، تغییر دهند.

بعضی از جهش‌ها، منبع ابتکار عمل هستند، و این به واسطه تغییر نحوه عملکرد یک ژن اتفاق می‌افتد. گاهی جهش‌ها می‌توانند مفید واقع شوند، اما در بسیاری از موارد،

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

آن‌ها می‌توانند ژنی را از داشتن عملکردی مطلوب باز دارند. گاهی اوقات، تغییر فقط یک حرف منفرد DNA می‌تواند تأثیرات بزرگی داشته باشد. برای مثال وقتی کودکی با تغییر در یک باز منفرد DNA، دو رونوشت از گونه خاصی از ژن بتا-گلوبین را به ارث می‌برد، رنگدانه‌های هموگلوبین‌شان کاملاً کارآمد نیستند و منجر به اختلالی خونی به نام بیماری سلول داسی شکل می‌شود.

من برای درک اینکه سلول‌های مخمر شکافدار چگونه موجب کنترل چرخه سلولی آن‌ها می‌شوند، به دنبال سویه‌هایی از مخمر می‌گشتم که قادر نبودند که به درستی تقسیم شوند. می‌دانستم که در صورت پیدا کردن این جهش‌یافته‌ها، می‌توانیم ژن‌های ضروری برای چرخه سلولی را شناسایی کنیم. من و همکارم در آزمایشگاه شروع کردیم به گشتن به دنبال مخمرهای شکافدار جهش‌یافته‌ای که نمی‌توانستند دست به تقسیم سلولی بزنند، اما هنوز می‌توانستند به رشد خود ادامه بدهند. این سلول‌ها را به راحتی می‌توان زیر میکروسکوپ تشخیص داد. زیرا آن‌ها بدون اینکه تقسیم شوند، آنقدر رشد می‌کردند که به صورتی غیرعادی بزرگ می‌شدند. طی سال‌ها، در واقع طی چهل سال، آزمایشگاه بیش از ۵۰۰ عدد از این سویه‌های مخمر دارای سلول‌های بزرگ را شناسایی کرده است، و مشخص شد که همه آن‌ها حاوی جهش‌هایی هستند که ژن‌های مورد نیاز برای رویدادهای خاصی از چرخه سلولی را غیرفعال می‌کنند. این یعنی حداقل ۵۰۰ ژن درگیر چرخه سلولی هستند - چیزی حدود ۱۰ درصد کل ۵۰۰۰ ژنی است که در مخمر شکافدار یافت می‌شود.

این یک پیشرفت به حساب می‌آمد، زیرا سلول مخمر برای تکمیل چرخه سلولی به این ژن‌ها واقعاً نیاز دارد. اما آن‌ها الزاماً چرخه سلولی را کنترل نمی‌کنند. اگر نحوه کار کردن ماشینی را در ذهن‌تان تصور کنید، می‌بینید که به هنگام ترمز کردن، اجزای بسیاری در متوقف کردن ماشین درگیر هستند: مثلاً چرخ‌ها، محورها، شاسی و موتور. مطمئناً این‌ها مهم هستند، اما راننده از هیچ کدام‌شان برای کاهش سرعت ماشین کمک نمی‌گیرد. در مورد چرخه سلولی هم ما در واقع می‌خواهیم گاز، جعبه دنده و ترمز را پیدا کنیم، یعنی ژن‌هایی که میزان سرعت پیشرفت سلول‌ها طی چرخه سلولی را کنترل می‌کنند.

طی تحقیقات، به طور کاملاً اتفاقی به اولین ژن از ژن‌های کنترل کننده چرخه سلولی برخوردم. من به روشنی آن لحظه را به یاد دارم که در ۱۹۷۴ داشتم با کمک یک میکروسکوپ به دنبال یکی دیگر از کلونی‌های سلول‌های جهش‌یافته و بزرگ سلول مخمر را می‌گشتم - کار کاملاً طاقت‌فرسایی است، زیرا از هر ۱۰،۰۰۰ کلونی‌ای که مشاهده می‌کردم، فقط حدود یکی از آن‌ها علاقه‌ام را به خود برمی‌انگیخت. یک صبح یا بعدازظهر کامل طول می‌کشید تا هر کدام از این جهش‌یافته‌ها را پیدا کنم، و بعضی

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

از روزها اصلاً هیچ چیزی گیرم نمی‌آمد. بعد توجه‌ام به کلونی‌ای جلب شد که سلول‌هایی با اندازه به طور غیرمعمولی کوچک داشت. در ابتدا تصور کردم که شاید باکتری‌هایی باشند که ظرف پتری‌ام را آلوده کرده‌اند، یک ناکامی تقریباً معمول. اما وقتی که نگاهی دقیق‌تر انداختم، متوجه شدم که آن‌ها حقیقتاً می‌توانند چیز جالب‌تری باشند. آیا ممکن بود که آن‌ها به قدری در کار چرخه سلولی عجله کرده باشند که زمان کافی برای رشد نداشته باشند، و بنابراین با اندازه‌های کوچک‌تری تقسیم شده‌اند؟

این رشته تفکرات، درست از آب در آمد؛ سلول‌های جهش‌یافته در واقع در ژنی با دیگران تفاوت داشتند که سرعت انجام میتوز و تقسیم، و بنابراین تکمیل چرخه سلولی آن را تنظیم می‌کند. این همان نوع ژنی بود که امیدوار بودم که پیدایش کنم. این سلول‌ها در واقع تا اندازه‌ای شبیه به ماشین‌هایی با گاز معیوب بودند که باعث می‌شدند ماشین و یا در این مورد چرخه سلولی سریع‌تر پیش برود. من این سویه‌های ریز را جهش‌یافته‌های «وی» (Wee) نامیدم، زیرا آن‌ها در ادینبروی اسکاتلند جداسازی شده بودند، و وی در لغت اسکاتلندی، به معنی کوچک می‌باشد. باید اعتراف کنم که حس شوخ طبعی آن بعد از نیم قرن رنگ باخته است!

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

ما متوجه شدیم ژنی که در این اولین جهش یافته «وی» تفاوت داشت، با ژن هنوز مهم‌تر دیگری، ژنی در قلبِ اتاق کنترل چرخه سلولی همکاری می‌کند. همه چیز دست به دست هم داد که دوز مناسبی از بخت و اقبال، مرا به سمت یافتن آن ژن کنترل کننده و گریزیای دومی هم ببرد. من برای چندین ماه به کار جداسازی سویه‌های متفاوتی از جهش یافته‌های وی مشغول بودم و با دقت و دشواری چیزی حدود ۵۰ تا از آن‌ها را جمع‌آوری کرده بودم. این یکی حتی سخت‌تر از گشتن به دنبال جهش یافته‌هایی با سلول‌های بسیار بزرگ بود: نزدیک یک هفته طول می‌کشید تا یکی از آن‌ها را پیدا کنم. این واقعیت که من به بیشتر سویه‌هایی که تلاش می‌کردم تا شناسایی‌شان کنم، توجه کمی داشتم، خود چالش من را تشدید کرده بود. زیرا همه آن‌ها دارای جهش‌هایی اندکی متفاوت از همان ژنی بودند که آن را بعداً «وی ۱» نامیدم.

بعداً در یک بعد از ظهر جمعه بارانی، جهش وی دیگری را شناسایی کردم. این بار ظرف پتری واقعاً آلوده شده بود: ظرف و سلول‌های مخمرش - به طرز عجیبی کوچک بودند - که چشمم را گرفته بودند، به وسیله پیچه‌های درازی از قارچی مهاجم پوشیده شده بودند. خسته بودم و می‌دانستم که خلاص شدن از شریک چنین قارچ‌هایی، کاری دشوار و طولانی می‌طلبد. به هر حال من حدس زدم که این سویه جدید هم به احتمال زیاد حاوی جهش دیگری از همان ژن، «وی ۱» باشد. من همه ظرف پتری را در سطل آشغال انداختم و به خانه برگشتم تا چایم را میل کنم.

اواخر همان شب، به خاطر کاری که انجام داده بودم، عذاب وجدان گرفتم. اگر این جهش یافته با ۵۰ جهش یافته دیگر وی تفاوت داشت، چطور؟ آن شب، ادینبرو بسیار تاریک و مرطوب بود، اما من سوار بر دوچرخه‌ام تمام راه را تا آزمایشگاهم بر روی تپه رکاب زدم. طی چند هفته آتی، کارم جداسازی جهش یافته‌های جدید «وی» از قارچ‌های مهاجم بود. و بعد کاشف به عمل آمد - خوشا به حال من - که این نوع دیگری از ژن وی ۱ نبود. در واقع ژنی کاملاً جدید، و بالاخره کلیدی بود که نحوه کنترل چرخه سلولی را آشکار می‌ساخت.

من این ژن جدید را «چرخه تقسیم سلول ۲»

(Cell division cycle 2)

یا به اختصار cdc2 نامیدم. گاهی با خودم می‌گویم که کاش برای این بخش مرکزی از معمای چرخه سلولی، اسم باشکوه‌تری حداقل به یادماندنی‌تری انتخاب می‌کردم! حداقل به خاطر شما که در این کتاب، بیشتر درباره cdc2 خواهید خواند. حالا که به گذشته نگاه می‌کنم، همه این‌ها چه در مرحله عمل و چه به هنگام اندیشه‌ورزی خیلی ساده اتفاق افتاد. خوش شانس هم بسیار اهمیت داشت: هم

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

یافتن تصادفی اولین جهش یافته‌های «وی» که من حتی به دنبال یافتن‌شان هم نبودم، و رو کردن بخت و اقبال به من، وقتی که آزمایش «شکست خورده» را از داخل سطل آشغال بیرون آورده و بازیابی کردم، و همین مرا به سمت بازیگر اصلی در کنترل چرخه سلولی کشاند. آزمایش‌های و افکار ساده می‌توانند به طور شگفت‌انگیزی در علم راهگشا باشند؛ بخصوص وقتی که با مقادیر مناسبی از سخت‌کوشی، امیدواری و البته خوش‌شانسی‌های گاه‌بی‌گاه همراه بشود.

من بیشتر این آزمایش‌های را زمانی انجام دادم که دانشمند جوانی بودم، تازه خانواده تشکیل داده بودم و در آزمایشگاه پروفیسور مرداک می‌چیسون در ادینبرو کار می‌کردم. او مکان و تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌هایم را در اختیارم گذاشت، و همچنین من به طور بی‌وقفه از مشورت‌ها و نظراتش بهره‌مند می‌شدم. علیرغم همه این سرمایه‌گذاری‌اش، اجازه نمی‌داد که اسمش را به عنوان نویسنده در هیچ کدام از مقالاتم بیاورم. زیرا او می‌گفت که به اندازه کافی در آن‌ها همکاری نداشته است. البته این درست نبود. این حجم از سخاوتمندی، اولین تجربه من از یک کار علمی بود، اما کمتر از آنچه که شایسته‌اش بوده، بدان توجه شده است. مرداک مرد شگفت‌انگیز و جالبی بود. همان‌طور که گفتم، او سخاوتمند و یکجورهای خجالتی بود، و خودش را کاملاً وقف تحقیقاتش کرده بود. او کوچک‌ترین اهمیتی نمی‌داد که آیا دیگران به کارهایش علاقه‌ای نشان می‌دهند یا خیر؛ او ساز خودش را می‌زد. اگر مرداک هنوز این دور و ور بود، احتمالاً هرگز راضی نمی‌شد که این گونه به او اشاره کنم، اما می‌خواهم به واسطه اینکه به من نشان داد که چرا بهترین تحقیقات هم به شدت شخصی و هم کاملاً جمعی هستند، او را با تمام وجود تحسین کنم.

حیات بدون ژن‌ها هرگز نمی‌توانست وجود داشته باشد: هر نسل جدیدی از سلول‌ها و موجودات زنده باید دستورالعمل‌های ژنتیکی مورد نیاز برای رشد، فعالیت و تکثیر را به ارث ببرند. این بدین معنی است که در موجودات زنده‌ای که برای مدتی طولانی زندگی می‌کنند، ژن‌ها باید بتوانند خودشان را بسیار دقیق و کامل همانندسازی کنند. فقط در این صورت است که توالی‌های DNA می‌توانند طی تقسیم‌های چندباره سلولی ثابت باقی بمانند، و بنابراین «آزمون زمان» را به سلامت از سر بگذرانند. سلول‌ها با دقت چشمگیرشان به این هدف دست پیدا می‌کنند. ما نتیجه آن را در اطراف‌مان مشاهده می‌کنیم. توالی DNA ی اکثریت عظیمی از ۲۲,۰۰۰ ژنی که سلول‌های‌تان را کنترل می‌کنند، تقریباً کاملاً مشابه دیگر انسان‌های امروزی روی این سیاره می‌باشد. آن‌ها هم تفاوت زیادی با توالی DNA ی اجداد شکارچی و گردآورنده‌مان ندارند که ده‌ها هزار سال پیش در اعماق ماقبل تاریخ، به دور آتش داستان‌سرایی می‌کردند. در مجموع، جهش‌هایی که خصوصیات مادرزادی شما را از

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

من، و خصوصیات مادرزادی هردوی ما را از اجداد ماقبل تاریخی مان متفاوت می‌سازند، کسرریزی - کمتر از یک درصد - از مجموعه کامل رمزهای DNA ی شما را تشکیل می‌دهند. این یکی از اکتشافات بزرگ در علم ژنتیک در قرن بیست و یکم می‌باشد: ژنوم‌های ما، هر سه میلیارد «حرف» DNA، در میان همه جنسیت‌ها، قومیت‌ها، ادیان و طبقات اجتماعی تقریباً شبیه به هم می‌باشند. این واقعیت مهم و یکسان‌سازی است که بایستی در سراسر جهان بدان ارج نهاده شود.

ما نمی‌توانیم این وارته‌های پراکنده‌ای را نادیده بگیریم که همگی مان در میان ژن‌های مان حمل می‌کنیم. اگرچه آن‌ها می‌توانند در میان اقلیت‌های کوچک، تأثیر بزرگی بر روی زیست‌شناسی فردی و تاریخچه حیات‌شان بگذارند. بعضی از این وارته‌ها در میان من و دختران و نوه‌هایم مشترک هستند، و آن‌ها بازگوکننده جنبه‌هایی از شباهت ما به مثابه یک خانواده می‌باشند. بعضی دیگر از وارته‌ها فقط در یک نفر از ماها وجود دارند، و با تأثیر گذاشتن بر روی ظاهر فیزیکی، سلامتی و روش فکر کردن مان، چه به طور نامحسوس و جزئی و چه به صورتی مشهود، بخشی از فردیت مستقل و مجزای ما را تشکیل می‌دهند.

ژنتیک با شکل دادن به تصور ما از هویت و نگاه مان به دنیا، در نقطه مرکزی سراسر حیات ما ایستاده است. در دوران میانسالی، چیز نسبتاً عجیبی را درباره ژنتیک خودم کشف کردم. من در خانواده‌ای متعلق به طبقه کارگر بزرگ شدم؛ پدرم در یک کارخانه کار می‌کرد و مادرم نظافتچی بود. برادران و خواهرم، همگی وقتی که پانزده سال داشتند، ترک تحصیل کردند. بنابراین من تنها کسی بودم که مدرسه را ادامه دادم و به دانشگاه رفتم. من کودکی شادی داشتم و اگرچه خانواده‌ام محافظه کار (سنتی) بودند، اما بسیار خوب از من حمایت می‌کردند. والدینم نسبتاً بزرگتر از والدین دوستانم بودند، و من عادت داشتم که از سر تمسخر، مرا نوه آن‌ها بدانند.

سال‌ها بعد من درخواست «گرین کارت» دادم تا بتوانم در ایالات متحده اقامت گزیده و کار جدیدم به عنوان رییس دانشگاه راکفلر را در نیویورک شروع کنم. در کمال تعجب، درخواستم رد شد. وزارت امنیت ملی ایالات متحده گفت که به خاطر اینکه در نسخه گواهی تولدی که در تمامی عمرم از آن استفاده کرده بودم، اسامی پدر و مادرم قید نشده است. من با دلخوری گواهی کامل تولدم را درخواست دادم. وقتی که پاکت نامه حاوی گواهی جدید را باز کردم، شوکه شدم. گواهی نشان می‌داد که والدینم، والدین واقعی‌ام نبودند - آن‌ها در واقع پدر بزرگ و مادر بزرگم «بودند». مادر واقعی‌ام، خواهرم بود. کاشف به عمل آمد که او در سن هفده سالگی حامله شده بود، و چون در آن زمان فرزند نامشروع بودن بسیار شرم‌آور به حساب می‌آمد، او را به خانه خاله‌اش در نوروچ فرستادند و من همانجا به دنیا آمدم. در بازگشت به لندن،

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

مادر بزرگم که می خواست از دخترش حفاظت کند، وانمود کرد که خودش مادرم است و مرا بزرگ کرد. طنز بزرگ در اینجاست که اگرچه من متخصص ژنتیک هستم، اما از ژنتیک خودم آگاهی نداشتم! در واقع از آنجا که همه کسانی که احتمالاً خبری از ماجرا داشتند، تا آن وقت مرده بودند، هنوز نمی دانم که پدرم چه کسی است: در جایی از گواهی تولدم که باید اسم او بیاید، فقط یک خط تیره گذاشته شده است. همه افراد با تعداد نسبت کمی از اختلاف [تنوع] های ژنتیکی جدیدی که عموماً به طور تصادفی به وجود می آیند و با هیچ کدام از والدین زیست شناختی شان مشترک نیستند، به دنیا می آیند. این تفاوت های ارثی، علاوه بر اینکه موجب منحصر به فرد شدن موجودات زنده می شوند، توضیح می دهند که چرا گونه های زنده طی دوره های زمانی طولانی، ایستا و بی تغییر نیستند. حیات در حالی که دنیا را تغییر می دهد و دنیا نیز محیط اطراف آن را تغییر می دهد، پیوسته در حال آزمون، ابداع و سازگاری است. برای اینکه این امر میسر شود، ژن ها باید بین نیازشان به حفظ اطلاعات از طریق بی تغییر ماندن و توانایی توأمان شان برای تغییر کردن، تعادل پایداری برقرار کنند. مفهوم بعدی به ما نشان می دهد که چگونه می توان به این منظور دست یافت، و در نتیجه، حیات چگونه به یک چنین تنوع منکوب کننده ای می رسد.

این مفهوم، تکامل از طریق انتخاب طبیعی می باشد.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

۳. تکامل از طریق انتخاب طبیعی

تصادف و ضرورت

دنیا با تنوع خارق العاده‌ای از اشکال حیات پر شده است. پروانه زرد رنگی که کتاب را با آن شروع کردم، یک پروانه گوگردی بود، از اولین منادیان فرا رسیدن بهار. با آن بال‌های زرد و ظریف‌اش، نمونه زیبایی از گروه به طور حیرت‌آور متنوعی از جانوران است که ما آن‌ها را حشرات می‌نامیم.

من حشرات بخصوص سوسک‌ها را دوست دارم؛ وقتی که نوجوان بودم، آن‌ها مایه سرگرمی من بودند. تنوع خیره‌کننده‌ای از سوسک‌ها وجود دارد - بعضی از دانشمندان فکر می‌کنند که بیش از یک میلیون گونه از آن‌ها در سرتاسر جهان وجود دارد. من که در انگلستان بزرگ شده‌ام، از دیدن سوسک‌های زمینی زره‌پوشی که به سرعت به زیر سنگ‌ها می‌روند، سوسک‌هایی که شب هنگام می‌درخشند، کفشدوزک‌های سرخ و سیاهی که در باغ‌ها شته‌ها را شکار می‌کنند، سوسک‌های آبری قدرتمندی که در استخرها شنا می‌کنند و سرخرطومی‌های داخل کیسه‌های آرد شگفت‌زده می‌شدم. سوسک‌ها دارای تنوع پر نوسانی می‌باشند، و دنیای کوچکی در دل تنوع همه اشکال حیات می‌باشند.

حیات با تمامی اشکال مختلف‌اش، می‌تواند به طور همزمان، غافلگیرکننده هم باشد: ما دنیای مان را با بیشمار جانوران، پرندگان، ماهی‌ها، حشرات، گیاهان، قارچ‌ها و سیاهه طولانی‌تری از میکروب‌های مختلف شریک هستیم؛ و به نظر می‌رسد که هر کدام‌شان به خوبی با سبک زندگی و محیط زیست خودشان سازگاری پیدا کرده‌اند. تعجبی ندارد که اغلب انسان‌ها برای هزاران سال تصور می‌کردند که همه این تنوع می‌بایستی نتیجه تلاش‌های یک خالق الوهی باشد.

اسطوره‌های خلقت در اغلب فرهنگ‌ها به وفور دیده می‌شوند. اسطوره یهودی-مسیحی آفرینش، اگر برداشتی تحت‌اللفظی از آن داشته باشیم، می‌گوید که حیات طی تنها چند روز خلق شده است. این اندیشه فراگیر که تک‌تک تمام گونه‌ها توسط آفریدگار خلق شده‌اند، توارث‌شناس قرن بیستمی، جی بی اس هالدین را بر آن داشت تا با نگاهی به تنوع عظیم گونه‌ها به کنایه بگوید که خدا هر کسی که هست، «شیفتگی بی‌اندازه‌ای به بعضی گونه‌ها دارد».

طی قرن‌های هجدهم و نوزدهم، متفکران شروع کردند به مقایسه ساختارهای پیچیده موجودات زنده با ساختارهای ماشین‌آلات پیچیده‌ای که طی انقلاب صنعتی طراحی و ساخته می‌شدند. این مقایسه‌ها اغلب موجب تقویت باورهای مذهبی می‌شدند: چگونه می‌توان بدون دخالت یک طراح دانا و متعال به یک چنین پیچیدگی‌ای دست پیدا کرد؟

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

مثال پر آب و تابِ روندر ویلیام پالی^{۱۶} دز ۱۸۰۲ یکی از این نوع استدلال‌ها می‌باشد. او از شما می‌خواهد که تصور کنید در حال قدم زدن هستید و ناگهان در مسیر چشم‌تان به یک ساعت می‌افتد. اگر آن را باز کنید و ساختمان پیچیده‌اش را که به وضوح با هدف دنبال کردن زمان طراحی شده است بررسی کنید، به ادعای وی، متقاعد خواهید شد که این ساعت توسط خالق دانا ساخته شده است. به نظر پالی، همین منطق را باید برای ساختارهای پیچیده زنده نیز به کار بست.

امروزه ما می‌دانیم که اشکال پیچیده حیات که مفهومی از هدف را به آن‌ها نسبت می‌دادند، به واسطه‌ای محقق می‌شوند.

انتخاب طبیعی فرایندی به شدت خلاق است که ما را - و تنوع خارق‌العاده‌ای از اشکال حیاتی که گرداگرد ما را فرا گرفته‌اند - به وجود آورده است، از میلیون‌ها گونه مختلف میکروب تا آرواره‌های سوسک‌های گوزنی، رشته‌های سی متری عروس دریایی یال شیری، تله‌های پر از مایع گیاه گوشتخوار کوزه‌دار، و شست میمون‌های بدون دم^{۱۷} و انسان که در طرف مقابل بقیه انگشتان قرار گرفته است. تکامل از طریق انتخاب طبیعی، بدون عدول از قوانین علم یا متوسل شدن به پدیده‌های غیرعادی، جمعیت‌هایی از مخلوقات به طور روز افزون پیچیده و متنوعی را پدید آورده است. طی اعصار متمادی، گونه‌های مختلفی سر بر آورده‌اند که شکل‌هایشان بدون هیچ تردیدی در تغییر هستند، و در پی امکان‌های جدیدی بوده‌اند و با محیط زیست‌های مختلف و موجودات زنده دیگر برهمکنشی دارند. همه گونه‌ها - از جمله گونه خودمان - پیوسته در تغییر می‌باشند، و سرانجام رو به انقراض می‌روند و تبدیل به گونه‌های جدیدی می‌شوند.

برای من، این داستان حیات همان‌طور چون اسطوره‌های خلقت گرایانه، پُر از شگفتی می‌باشد. در حالی که اغلب داستان‌های مذهبی از اعمالی آشنا و حتی به نوعی زمینی سخن به میان می‌آورند و مقیاس زمانی‌شان کاملاً برای‌مان قابل درک می‌باشد، تکامل از طریق انتخاب طبیعی ما را بر آن می‌دارد که تخیل‌مان را از عزلتگاهش به پرواز در آورده و به چیزی آستانه‌ای‌تر اما باشکوه‌تر بیندیشیم. کل این فرایند، تدریجی است، اما وقتی که آن را در مقیاس زمانی به طور غیرقابل تصویری گسترده قرار می‌دهیم، چیزی که دانشمندان آن را «زمان ژرف» (Deep time) می‌نامند، به فوق العاده‌ترین نیروی خلاقه تبدیل می‌شود.

چهره مهم تکامل چارلز داروین است، طبیعی‌دانی قرن نوزدهمی که سوار بر کشتی کوچک نیروی دریایی سلطنتی، اچ ام اس بیگل به سراسر دنیا سفر کرد و گونه‌های گیاهی، جانوری و فسیل‌های بسیاری را جمع‌آوری کرد. داروین با ولع بسیار، شواهدی دال بر اندیشه تکامل گرد آورد و به سازوکار مناسبی - انتخاب طبیعی -

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

دست پیدا کرد که توضیح می‌داد که تکامل چگونه کار می‌کند. او همه این‌ها را در کتاب درباره منشأ انواع (۱۸۵۹) نقل کرده است. از میان بزرگ‌ترین مفاهیم زیست‌شناختی، اگرچه تکامل احتمالاً شناخته‌شده‌ترین آن‌هاست، اما همیشه به اندازه بقیه به درستی درک نشده است.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

داروین اولین نفری نبود که نشان داد حیات در گذر زمان تکامل پیدا می‌کند. همان‌طور که او در کتاب درباره منشأ انواع اشاره دارد، ارسطو بر این باور بود که ممکن است اجزایی از بدن حیوانات طی مدت زمان‌های طولانی ظاهر و یا ناپدید شوند. دانشمند فرانسوی اواخر قرن نوزدهم، ژان باپتیست لامارک با بیان اینکه گونه‌های مختلف از طریق زنجیره‌های خویشاوندی به یکدیگر وصل می‌شوند، گامی فراتر نهاد. او پیشنهاد کرد که گونه‌ها به مرور طی فرآیند سازگاری تغییر می‌کنند، و اشکال حیات نسبت به دگرگونی‌های محیط‌زیست و تغییرات عادات‌شان واکنش نشان می‌دهند. این مثال او معروف است که می‌گوید زرافه‌ها به دلیل اینکه نسل به نسل، سرهاشان را به سمت بالا می‌کشیدند تا به برگ‌های بالایی درختان برسند، صاحب گردن‌های بلندتری شده‌اند و نتیجه این تلاش‌ها را به نسل‌های بعدی منتقل کرده‌اند تا گردن‌هاشان اندکی بلندتر شود. چون لامارک در مورد جزئیات فرایند تکامل به اشتباه افتاده بود، امروزه اندیشه‌های او گاهی اوقات نادیده گرفته می‌شوند. اگرچه او نتوانسته بود علل پدیده تکامل را شرح بدهد، اما به خاطر ارائه یکی از اولین گزارش‌های مفصل از این پدیده، شایسته تقدیر زیادی است.

قطعاً لامارک تنها کسی نبود که به تکامل اندیشیده بود. حتی در خانواده خود چارلز، پدر بزرگ پرشور وی، اراسموس داروین یکی از حامیان اولیه و سینه‌چاک تکامل بود. او شعاری را بر روی کالسکه‌اش حکاکی کرده بود؛ که به معنی «همه چیز از درون صدف‌ها» است، این شعار وی این باور را تبلیغ می‌کرد که همه اشکال حیات، حاصل تکامل نیاکان بسیار ساده‌تر ما، مثلاً توده‌های بی‌شکل نرم‌تنان درون صدف‌ها هستند. اما بعد از اینکه سرپرست کلیسای جامع لیچفیلد او را متهم کرد که «دارد خالق را انکار می‌کند»، وی این شعار را برداشت. او ناگزیر به انجام این کار شد، زیرا اراسموس پزشک موفق بود و درک می‌کرد که اگر از این دستور سرپیچی کند، ممکن است بیماران سرشناس و البته ثروتمندترش را از دست بدهد. او در آن زمان شاعری برجسته نیز به حساب می‌آمد، و دیدگاه‌هایش درباره تکامل را در قالب مصراع‌هایی از شعرش به نام معبد طبیعت شرح داده است:

«اولین اشکال حیات بدون آن که

با عدسی دیده شوند، در گل شل می‌جنید، یا شلابه‌ای را می‌شکافت

این‌ها، به مثابه نسل‌هایی جدید شکوفا می‌شوند،

نیروهای جدیدی حاصل شده است و اعضای بزرگ‌تر بیاید؛

از آنجا گروه‌های بی‌شماری از گیاهان سر بر می‌آورند، و محدوده‌هایی از باله و پا و بال جانی می‌گیرند».

شاید قابل درک باشد که چرا دیگر او را به عنوان شاعر نمی‌شناسیم، با این وجود او

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

شهرتش را به عنوان دانشمند حفظ کرده است. اما شناخته شده‌ترین نوه‌اش، به جنبه‌هایی از مفاهیم او دربارهٔ تکامل که در سطور بالاتر به آن‌ها اشاره شد، به طور مفصل پرداخت.

چارلز داروین رویکرد نظام‌مندتر و علمی‌تری نسبت به تکامل داشت، و ابزارهای ارتباطی‌اش معمول‌تر بودند و او خودش را به نثر محدود کرد. او حجم عظیمی از شواهدی متشکل از فسیل‌ها، و مطالعات بر روی گیاهان و جانوران وطن‌اش و خارج از کشور را گردآوری کرد. او همهٔ آن‌ها را به گونه‌ای مرتب کرده بود که همگی‌شان دیدگاه‌هایی را که بین لامارک، پدر بزرگش و دیگران مشترک بوده و حاکی از آن بودند که همهٔ اشکال حیات تکامل پیدا می‌کنند، قویاً اثبات می‌کرد. اما او با مطرح کردن انتخاب طبیعی به عنوان سازوکاری برای تکامل، از این‌ها هم قدمی فراتر نهاد. او تمامی نقطه‌چین‌ها را به هم وصل کرد و به جهان نشان داد که تکامل در واقع چگونه می‌تواند عمل کند.

مفهوم انتخاب طبیعی مبتنی بر این واقعیت است که در درون جمعیت‌های موجودات زنده، شاهد گوناگونی هستیم، و اگر این واریته‌ها به دلایلی ژنتیکی به وجود آمده باشند، از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند. بعضی از این واریته‌ها بر روی خصوصیتی تأثیر خواهند گذاشت که موجب می‌شوند تا افراد بخصوصی در تولید فرزندان موفق‌تر عمل کنند. این موفقیتِ بهتر تولیدمثلی بدین معنی است که فرزندانی که دارای این واریته‌ها هستند، سهم بیشتری از جمعیت را در نسل بعدی به خود اختصاص می‌دهند. در مورد گردن دراز زرافه، ما می‌توانیم اینطور استنباط کنیم که حضور تصادفی و انباشتگی واریته‌ها، اسکلت و ماهیچه‌های گردن‌شان تغییر یافته تا بعضی از نیاکان زرافه‌ای‌شان به شاخه‌هایی اندکی مرتفع‌تر دسترسی داشته باشند و از برگ‌های بیشتر و مغذی‌تری بهره‌مند شوند. در نتیجه این زرافه‌های قدبلندتر، انعطاف بیشتری از خود نشان داده و توانایی‌شان برای به وجود آوردن بچه زرافه‌ها بیشتر شده است. بنابراین به تدریج زرافه‌هایی با گردن‌هایی بلندتر در گله‌هایی که در ساواناهای افریقا پر سه می‌زدند، غالب شدند. به دلیل اینکه همهٔ محدودیت‌های این فرایند توسط عواملی طبیعی مانند رقابت بر سر غذا یا جفت‌گیری یا وجود بیماری و انگل‌ها اعمال می‌شوند، آن را انتخاب «طبیعی» می‌نامند. انتخاب طبیعی تضمین می‌کند که بعضی از افراد خوراک بهتری داشته و لذا بیشتر از دیگران تکثیر می‌شوند.

همین سازوکار به طور مستقل توسط آلفرد والاسِ طبیعی‌دان، و مجموعه‌دار هم مطرح شد. کمتر افرادی اطلاع دارند که هر دوی آن‌ها اندیشه‌ورزی‌های اوایل آن قرن دربارهٔ انتخاب طبیعی، بخصوص فرضیات پاتریک متیو، متخصص کشاورزی و زمیندار اسکاتلندی در کتابش دربارهٔ جنگل‌های نیروی دریایی (۱۸۳۱) را دنبال می‌کردند. با

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این وجود، داروین اولین نفری بود که کل این اندیشه را به روش قانع کننده، همه فهم و مجاب کننده ای ارائه داد.

انسان ها هم برای هزاران سال است که با استفاده از پرورش دادن موجوداتی با خصوصیتی خاص، از همین فرایند بهره می برند. این فرایند را انتخاب مصنوعی می نامند، و داروین نیز در واقع با مشاهده اینکه چگونه کبوترها را حیواناتی با ویژگی هایی خاص را انتخاب می کردند تا آن ها را برای تولید واریته های بسیار متنوعی از کبوترها زادگیری کنند، اندیشه های خودش را بسط داد. انتخاب مصنوعی می تواند نتایج شگرفی به بار بیاورد. بدین گونه بود که ما گرگ های خاکستری وحشی را به بهترین دوست انسان تبدیل کردیم، و نژادهای متنوعی از سگ ها، از چپواوای ریزه میزه تا گریت دین های تنومند را به وجود آورده ایم. همچنین از همین طریق بود که از گیاه خردل وحشی، بروکلی، کلم پیچ، کلم گل، کلم برگ و کلم قمری پدید آمدند. همه این تغییرات که طی نسل های نسبتاً اندکی صورت گرفتند، دیدی اجمالی از قدرت عظیم فرایند تکاملی، به هنگامی که اجازه پیدا می کند تا به طور طبیعی طی میلیون ها سال تداوم پیدا کند، به ما ارائه می دهند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

انتخاب طبیعی منجر به بقای اصلح‌ترین افراد - که از قضا خود این واژه توسط داروین استفاده نشده است - و حذف افرادی می‌شود که قادر به رقابت نمی‌باشند. در نتیجه این فرایند، تغییرات ژنتیکی بخصوصی در جمعیت‌ها انباشته می‌شوند، و این سرانجام به تغییراتی دیرپا در شکل و عملکرد گونه‌های زنده می‌انجامد. این امر می‌تواند توضیح دهد که چگونه بعضی سوسک‌ها طوری تکامل پیدا کرده‌اند که صاحب بال‌پوش‌هایی با خال‌هایی قرمز رنگ شده‌اند، در حالی که بعضی دیگر از آن‌ها یاد گرفته‌اند که شنا کنند، توده‌های سرگین را بغلتانند یا در تاریکی بدرخشند.

انتخاب طبیعی، مفهوم عمیقی است که ورای زیست‌شناسی هم از اهمیت زیادی برخوردار است. این مفهوم در بسیاری از نظام‌های دیگر دانش، مخصوصاً در علم اقتصاد و علوم کامپیوتر هم دارای قدرت تبیین‌کنندگی و هم دارای مزیتی عملی می‌باشد. برای مثال، امروزه جنبه‌هایی از نرم‌افزار و بعضی از اجزای طراحی شده ماشین‌آلاتی مانند هواپیما، توسط الگوریتم‌هایی بهینه‌سازی می‌شوند که از انتخاب طبیعی تقلید می‌کنند. این محصولات به جای اینکه به مفهوم متداول آن طراحی شوند، تکامل پیدا می‌کنند.

برای اینکه تکامل از طریق انتخاب طبیعی عملی بشود، موجودات زنده باید سه ویژگی بسیار مهم داشته باشند:

اول، آن‌ها باید توانایی تکثیر داشته باشند.

دوم، آن‌ها باید دارای یک سیستم توارثی باشند که به موجب آن طی تکثیر، از اطلاعاتی که تعریف‌کننده خصوصیات موجود زنده هستند، رونوشت‌برداری شده و آن‌ها به ارث گذاشته شوند.

سوم، سیستم توارث باید نوعی از تنوع را از خود نشان بدهد، و این تنوع باید طی فرآیند تکثیر به نسل بعدی منتقل گردد. انتخاب طبیعی براساس همین تنوع است که عمل می‌کند. این فرایند، منبع کند و به‌طور تصادفی به وجود آمده را به گستره‌ای ظاهراً بی‌کران و همواره در حال تغییر از اشکال حیاتی تبدیل می‌کند که در اطراف ما سر بر می‌آورند.

علاوه بر این، برای اینکه انتخاب طبیعی موثر واقع شود، موجودات زنده باید بمیرند. بدین ترتیب، نسل بعدی که به طور بالقوه حامل واریته‌های ژنتیکی‌ای است که به افرادش عطش رقابت می‌دهد، می‌تواند جایگزین آن‌ها شود.

این سه ویژگی ضروری مستقیماً از مفهوم‌های سلول و ژن نشأت می‌گیرند. همه سلول‌ها طی چرخه سلولی تکثیر می‌شوند، و همه سلول‌ها دارای سیستمی توارثی می‌باشند که به وسیله ژن‌هایی ایجاد شده است که در میتوز و تقسیم سلولی رونوشت‌برداری شده و به نسل بعدی منتقل می‌شوند. تنوع به وسیله ظهور

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

جهش‌هایی تصادفی به وجود می‌آید که در توالی DNA ها تغییراتی ایجاد می‌کنند - مانند جهشی که مرا به کشف ژن *cdc2* سوق داد. جهش‌های تصادفی یا نتیجه‌اشتباهاتی نادر در رونوشت‌برداری از مارپیچ دوگانه هستند، و یا نتیجه آسیب‌های محیطی به DNA. سلول‌ها این جهش‌ها را تصحیح می‌کنند، اما آن‌ها در این کار کاملاً موفق عمل نمی‌کنند. اگر آن‌ها در این کار موفق بودند، همه افراد یک گونه، شیه به هم می‌شدند و فرآیند تکامل متوقف می‌شد. این بدین معنی است که خود میزان خطاها، منوط به انتخاب طبیعی می‌باشد. اگر میزان خطاها بسیار زیاد باشد، اطلاعات ذخیره شده توسط ژنوم، از بین رفته و بی‌معنا می‌شوند. و اگر خطاها بسیار نادر باشند، احتمال تغییر تکاملی نیز کاهش پیدا می‌کند. در دراز مدت، اغلب گونه‌های موفق آن‌هایی خواهند بود که می‌توانند تعادلی درست و حسابی را بین ثبات و تغییر ایجاد کنند.

در موجودات یوکاریوت پیچیده، فرآیند تولیدمثل جنسی نیز منجر به تنوع می‌شود؛ وقتی که طی تقسیماتی سلولی که منجر به تولید سلول‌هایی جنسی (سلول‌های اسپرم و سلول‌های تخمک در جانوران، و گرده و تخمک در گیاهان) می‌گردند که خود طی فرایندی به نام میوز^{۱۸} ساخته شده‌اند، بخش‌هایی از کروموزوم از نو آرایش پیدا می‌کنند. این دلیل اصلی تفاوت ژنتیکی بین فرزندان حاصل از یک تقسیم می‌باشد: اگر ژن‌های والدین‌شان را به یک دسته ورق تشبیه کنیم، هر کدام از آن‌ها یک «دست» ژنتیکی متفاوت از این ورق‌ها می‌باشند.

بسیاری از موجودات زنده دیگر با تبادل مستقیم توالی‌های DNA بین افراد مختلف‌شان، این تنوع را به وجود می‌آورند. این امر، در میان موجودات کمتر پیچیده‌ای مانند باکتری‌ها معمول می‌باشد که می‌توانند ژن‌های‌شان را با یکدیگر، و همچنین با موجودات زنده پیچیده‌تر مبادله کنند. این فرایند را انتقال افقی ژن می‌نامند. این یکی از عواملی است که باعث می‌شود ژن‌هایی که به باکتری خاصی در مقابل آنتی‌بیوتیک‌ها مصونیت می‌دهند، می‌توانند به سرعت در میان جمعیت‌های باکتری‌ها و حتی در میان گونه‌های دیگر هم گسترش پیدا کنند. انتقال افقی ژن همچنین کارمان را برای دنبال کردن عقبه یک دودمان طی زمان تکاملی، سخت‌تر می‌کند. زیرا این فرایند بدین معنی است که ژن‌ها می‌توانند از یک شاخه به شاخه دیگری از درخت حیات انتقال پیدا کنند.

منشأ تنوع ژنتیکی هر چه که می‌خواهد باشد، این تنوع برای اینکه تغییر تکاملی را برانگیزاند، باید در تولیدمثل‌های بعدی حفظ شود و جمعیت‌هایی را به وجود بیاورد که در همه جنبه‌های ممکن تغییرات دارند، از تغییرات نامحسوس در مقاومت نسبت به بیماری‌ها، جذب جفت شدن، بردباری غذایی و یا هر گونه خصوصیت دیگری.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

سپس انتخاب طبیعی می‌تواند به گونه‌ای عمل کند که واریته‌های مفید را از واریته‌های مضر جدا کنند.

یک پیامد قابل توجه تکامل از طریق انتخاب طبیعی، این است که همه اشکال حیات دارای نیای مشترکی هستند. این بدان معناست که اگر در طول درخت حیات به عقب برگردیم، شاخه‌ها پیوسته به هم می‌پیوندند و شاخه‌هایی بزرگ‌تر را پیدا می‌آورند، تا اینکه در نهایت به یک تنه واحد تبدیل می‌شوند. بنابراین نتیجه می‌گیریم که ما انسان‌ها با همه اشکال دیگر حیات روی کره زمین نسبت داریم. ما با بعضی از آن‌ها مانند میمون‌های بدون دم نسبت نزدیکی داریم، زیرا بر روی ترکه‌های مجاور یکدیگر در حاشیه درخت نشسته‌ایم. ما نسبت بسیار دورتری با موجودات دیگری مانند مخمر داریم. زیرا ما فقط وقتی که به زمان‌های بسیار دور بر می‌گردیم، در جایی نزدیک به تنه اصلی درخت حیات، به هم «می‌پیوندیم».

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

زمانی متوجه اهمیت این همبستگی بنیادین ما با دیگر اشکال حیات شدم که داشتم در جنگل‌های بارانی سر سبز و مرطوب اوگاندا، به دنبال گوریل‌های کوهستان پیاده‌روی می‌کردم. در حالی که پشت سر راهنمایم حرکت می‌کردیم، ناگهان به یک خانواده برخوردیم. وقتی که به خود آمدم، دیدم که روبروی پشت نقره‌ای^{۱۹} باشکوهی نشسته بودم؛ او درست در دو سه متری من زیر درختی چمباتمه زده بود. خیس عرق شده بودم، نه فقط به خاطر رطوبت و گرمای هوا. به عنوان یک متخصص ژنتیک، می‌دانستم که ۹۶ درصد ژن‌های من و او مشترک هستند، اما این عدد ساده تنها از پس توضیح دادن بخشی از داستان بر می‌آید. در حالی که به چشمان باهوش و قهوه‌ای پررنگش خیره شده بودم، دیدم که جنبه‌های زیادی از من انسان نیز برایم آشکار شدند. این میمون‌های بدون دم بسیار پذیرای یکدیگر و همچنین ما انسان‌ها بودند. بسیاری از رفتارهای آن‌ها به طرز غیر قابل اجتنابی برای ما آشنا بودند. همدلی و کنجکاوی مشهودی داشتند. من و پشت نقره‌ای برای چند دقیقه‌ای به یکدیگر خیره شدیم. مثل یکجور گفتگو بود. بعد او دستش را دراز کرد، نهالی به قطر پنج سانتیمتر را دو تا کرد (تلاش می‌کرد تا چیزی به من بگوید؟)، و از درختی بالا رفت، در تمام این مدت با آن نگاه نافذش به من خیره شده بود. این مواجهه شگرف و تکان‌دهنده به شدت به من تاکید کرد که ما با این مخلوقات باشکوه چه پیوند نزدیکی داریم. این حس همبستگی از گوریل‌ها و میمون‌های بدون دم فراتر رفته، و به پستانداران و دیگر جانوران، و حتی از طریق انشعاب‌های باستانی‌تر موجود در درخت خانواده‌ای که با دیگر موجودات زنده در آن شریک هستیم، به گیاهان و میکروب‌ها هم بسط پیدا می‌کند. به نظر من، این یکی از بهترین دلایل برای این است که چرا بشر باید مراقب کل زیست‌کره^{۲۰} باشد؛ همه اشکال مختلف حیات که در این سیاره با آن‌ها شریک هستیم، خویشاوندان ما هستند.

زمانی که تصمیم گرفتم این سؤال را بپرسم که آیا سلول‌های انسان و مخمرهای شکافدار، چرخه سلولی خود را به یک روش مشابه کنترل می‌کنند، به طور غیر منتظره‌ای از همبستگی عمیق‌مان با دیگر موجودات زنده مطلع شدم. من این سؤال را در دهه ۱۹۸۰، وقتی که در یک انستیتوی مطالعه سرطان در لندن کار می‌کردم، از خودم پرسیدم. از آنجا که سرطان به دلیل تقسیم سلولی نابهنجار سلول‌های انسان به وجود می‌آید، بسیار بدیهی است که اغلب همقطارانم که در آزمایشگاه‌های دیگر کار می‌کردند، بیشتر علاقه داشتند بدانند که چه چیزی چرخه سلولی را در انسان، و نه مخمرها کنترل می‌کند. تا آن زمان من دیگر دانستم که چه چیزی تقسیم سلولی را در مخمرها کنترل می‌کند. ژن بسیار مهم *cdc۲* با آن اسم بی‌روحش در مرکز این سازوکار کنترل‌کننده چرخه سلولی قرار گرفته است.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

من می خواستم بدانم آیا احتمالش هست که نسخه‌ای انسانی از همین ژن $cdc2$ نیز تقسیم سلول‌های انسان را کنترل کند. با توجه به اینکه مخمرها و انسان‌ها تفاوت بسیار زیادی با هم دارند و متأخرترین جد مشترک‌شان $1/2$ تا $1/5$ میلیارد سال پیش (یعنی ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ میلیون سال پیش) می‌زیسته است، این موضوع بسیار دور از ذهن به نظر می‌رسید. برای اینکه متوجه این گستره عظیم زمانی شویم، خوب است بدانیم که دایناسورها «تنها» ۶۵ میلیون سال پیش منقرض شدند، و اولین نمونه جانوران حدوداً ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلیون سال پیش ظهور کرد. اگر بخواهم راستش را بگویم، باور به اینکه یک چنین خویشاوندان دوری سلول‌هایی داشته باشند که تکثیرشان به روش مشابهی کنترل شود، واقعاً مهمل به نظر می‌رسد. با این وجود، ما باید آن را کشف می‌کردیم.

ملانی لی در آزمایشگاه من این طور با این سوال برخورد کرد که ما باید تلاش کنیم تا ژنی انسانی را پیدا کنیم که همان عملکرد ژن $cdc2$ در مخمرها را در بدن ما داشته باشد. برای این منظور، او سلول‌های مخمر شکافدار را انتخاب کرد که $cdc2$ ناقصی داشتند و در نتیجه نمی‌توانستند تقسیم شوند. سپس یک «کتابخانه ژنی»^{۲۱} را که از هزاران قطعه DNA ی انسانی تشکیل شده بود، روی آن‌ها «پراکند». هر قطعه DNA حاوی یک ژن منفرد انسانی بود. ملانی شرایطی را مهیا کرد تا مطمئن شود که سلول‌های جهش‌یافته مخمر به طور معمول فقط یک یا دو ژن را بگیرند. اگر محقق می‌شد که یکی از این ژن‌ها معادل انسانی ژن $cdc2$ باشد، و اگر آن‌ها در سلول‌های انسان و مخمر به یک شکل عمل می‌کردند، و اگر ژن انسانی $cdc2$ می‌توانست وارد سلول‌های مخمر شود، آنگاه سلول‌هایی که $cdc2$ جهش‌یافته داشتند، احتمالاً دوباره توانایی‌شان برای تقسیم شدن را به دست می‌آورند. اگر همه چیز درست پیش می‌رفت، آن‌ها می‌بایستی کلونی‌هایی را تشکیل بدهند که ملانی می‌توانست آن‌ها را در روی ظرف‌های پتری‌اش مشاهده کند. احتمالاً متوجه شده‌اید که در این طرح، «اگر» های متعددی وجود دارد. آیا فکر می‌کردیم که این آزمایش درست پیش می‌رود؟ احتمالاً خیر، اما ارزشش را داشت.

و جالب اینکه جواب داد! کلونی‌ها بر روی ظرف پتری رشد کردند و ما توانستیم رشته‌ای از DNA ی انسان را جداسازی کنیم که با موفقیت جانشین ژن $cdc2$ ای شده بود که این همه برای تقسیم سلولی مخمر ارزشمند بود. ما توالی این ژن ناشناخته را چیدیم و مشاهده کردیم که توالی پروتئینی که می‌سازد، بسیار شبیه به پروتئین تولید شده توسط $Cdc2$ مخمر می‌باشد. بدیهی بود که ما داشتیم به دو نسخه بسیار خویشاوند (مشابه) از یک ژن نگاه می‌کردیم. آن‌ها به قدری شبیه به هم بودند که ژن انسانی می‌توانست چرخه سلولی مخمر را کنترل کند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این نتیجه غیرمنتظره ما را بر آن داشت تا به نتیجه‌ای دور از دسترس برسیم. مسلم است که انسان‌ها و مخمرهای شکافدار به قدری از نظر تکاملی از هم دور هستند که بسیار محتمل است که چرخه سلولی همه سلول‌های کلیه جانوران، قارچ‌ها و گیاهان روی زمین به همین شکل کنترل شوند. همه این‌ها به احتمال زیاد به عملکرد ژنی وابسته هستند که بسیار شبیه به ژن *cdc2* ی مخمر می‌باشد. و علاوه بر این، اگرچه این موجودات زنده مختلف طی قرون متمادی از زمان تکاملی طوری به تدریج تکامل پیدا کرده‌اند که منجر به اشکال و سبک زندگی‌های مختلف بی‌شماری شده‌اند، اما در کنترل اصلی این بنیادین‌ترین فرآیند، عملاً به سختی بتوان تغییری مشاهده کرد. *Cdc2*، ابداعی است که برای بیش از یک میلیارد سال پابرجا مانده است.

همه این‌ها مرا بیشتر از پیش واداشت باور کنم که برای درک نحوه کنترل کردن تقسیم سلولی توسط سلول‌های انسانی (که خود برای درک اینکه بدن‌هایمان طی رشد، تکوین، بیماری و دژنراسیون در طول عمرشان چه تغییراتی می‌کنند، حیاتی است)، می‌توان گستره عظیمی از موجودات زنده از جمله مخمرهای ساده را مورد مطالعه قرار داد.

انتخاب طبیعی فقط در حین تکامل رخ نمی‌دهد؛ بلکه در سطح سلول‌های درون بدن ما هم انجام می‌شود. سرطان وقتی آغاز می‌شود که ژن‌های مهم برای کنترل رشد و تقسیم سلول‌ها آسیب می‌بینند یا دوباره بازآرایی می‌شوند، و منجر به تقسیم کنترل نشده سلول‌ها می‌شود. درست مثل تکامل در درون جمعیتی از موجودات زنده، این سلول‌های پیشاسرطانی و سرطانی نیز اگر استحکامات دفاعی بدن را دور بزنند، می‌توانند به تدریج بر جمعیت سلول‌های بدون تغییری که بافت را می‌سازند، غلبه کنند. با رشد جمعیت سلول‌های آسیب دیده، محتمل‌تر است که تغییرات ژنتیکی در درون این سلول‌ها رخ دهد و منجر به انباشت آسیب ژنتیکی و به وجود آمدن سلول‌های سرطانی به طور فزاینده‌ای مهاجم شوند.

این سیستم، سه ویژگی ضروری برای تکامل از طریق انتخاب طبیعی را دارد: تولیدمثل (یا تکثیر)، یک سیستم توارثی، و توانایی این سیستم توارثی برای به نمایش گذاشتن تنوع. تناقض در اینجا است که همان شرایطی که در وهله اول به حیات انسان اجازه تکامل را می‌دهد، خود مسئول یکی از کشنده‌ترین بیماری‌های انسانی نیز می‌باشد. اگر بخواهیم عملگرایانه‌تر حرف بزنیم، این بدین معناست که زیست‌شناسان جمعیت و تکاملی بایستی بتوانند به طور قابل ملاحظه‌ای به فهم ما از سرطان یاری برسانند.

آموختن تکامل نیز تأثیر نسبتاً شگرفی بر روی مسیر زندگی‌ام داشت. مادر بزرگم باپتیست بود، و همه‌مان عادت داشتیم که هر هفته شنبه‌ها به کلیسای باپتیست

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

منطقه‌مان برویم. به خوبی کتاب مقدس را بلد بودم (هنوز هم بلدم)، و حتی در نظر داشتم که یک کشیش و شاید حتی یک مبلغ مذهبی بشوم! بعد تقریباً همان ایامی که آن پروانه گوگردی را در باغ دیدم، داشتم چیزهایی درباره تکامل از طریق انتخاب طبیعی یاد می‌گرفتم. توضیحات علمی درباره تنوع بسیار زیاد حیات، به وضوح کاملاً در تقابل با روایت کتاب مقدسی قرار داشت. من در تلاش برای درک کردن این اختلاف، به ملاقات کشیش باپتیست رفتم. برای او توضیح دادم آنجا که خدا از روایت آفرینش سخن می‌گوید، داشته ماقوع را طوری توضیح می‌داده است که برای جمعیتی از مردمان روستایی و بیسواد قابل درک باشد. من به او گفتم که شاید بهتر باشد که ما آن را ندیده بگیریم، اما در واقعیت، خداوند با ابداع تکامل از طریق انتخاب طبیعی، سازوکار حتی شگفت‌آورتری را برای خلقت به وجود آورده است. متأسفانه کشیش من نظری یکسره متفاوت داشت. او به من گفت که باید به کتاب پیدایش به مثابه حقیقتی محض اعتقاد داشته باشم و گفت که برای من دعا خواهد کرد.

بدین ترتیب من به مرور به علم گرایش پیدا کردم. علم مسیری برای فهم دنیا در پیش پایم گذاشت. یقین و حتی ثبات قدم بیشتری، و راه بهتری برای جستجوی حقیقت.

تکامل از طریق انتخاب طبیعی توضیح می‌دهد که اشکال متفاوت حیات چگونه می‌توانند به وجود آمده باشند و در این مسیر موفق هم شوند. این فرایند به وسیله ضرورت به وجود آمدن اشکال هر چه کارآمدتری از حیات هدایت می‌شود. اما این امر، واقعاً بینش چندانی درباره نحوه عملکرد موجودات زنده به دست نمی‌دهد. برای این منظور، ما باید به دو مفهوم بعدی بپردازیم؛ اولین آن‌ها، حیات به مثابه شیمی است.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

۴. حیات به مثابه شیمی

نظم در دل آشوب

بسیاری از مردم احتمالاً به دنیای اطرافشان می‌نگریستند و آن را به دو بخش اصلی تقسیم می‌کردند: چیزهایی که زنده هستند و چیزهایی که به وضوح جاندار نیستند. حرکت کردن، از روی هدف فعالیت کردن، واکنش نشان دادن به محیط اطراف و تکثیر خودشان، از مشخصه‌های موجودات زنده می‌باشند. هیچ کدام از این مشخصه‌ها را نمی‌توان به موجودات بی‌جانی از قبیل یک سنگ ریزه، یک کوه یا یک ساحل شنی نسبت داد. در واقع اگر چیزی حدود دویست سال به عقب برگردیم، یعنی به پیش از به وجود آمدن مفاهیم شرح داده شده در این کتاب، ممکن است به این نتیجه برسیم که زندگی زمینی، به وسیله نیروهای اسرارآمیزی مختص به موجودات زنده هدایت می‌شده.

این شیوه از تفکر را «حیات‌گرایی» (Vitalism) می‌نامند، و ریشه در افکار متفکرانی مانند ارسطو و جالینوس و احتمالاً حتی بعدتر از آن‌ها دارد. حتی منطقی‌ترین و علم‌گراترین افراد در میان ما هم به سختی می‌توانند این تفکر را یکسره به کناری بگذارند. اگر تا به حال شاهد مرگ کسی بوده باشید، می‌دانید که بسیار به این می‌ماند که انگار اخگرهای غیرقابل فهم حیات به ناگاه به خاموشی گراییده‌اند.

توضیحات حیات‌گرایانه بدین خاطر پذیرفته می‌شوند که به نظر می‌رسد جواب‌های آرامش‌بخشی برای چیزهایی دارند که ذهن‌مان همواره در حال تقلا با آن‌ها است. اما در واقع هم‌اکنون می‌توانیم اطمینان داشته باشیم که نیازی به فراخواندن هیچ کدام از این اشکال جادو نداریم. اغلب جنبه‌های حیات را می‌توان به خوبی از منظر فیزیک و شیمی درک کرد. اگرچه یک نوع شگفت‌آوری از شیمی بسیار نظام‌مند و منسجم و پیچیده، و نوع خاصی از پیشرفتگی وجود دارد که نمی‌توانند با هر فرآیند بی‌جانی جور در بیایند. به نظر من این توضیحات، اعجاب‌انگیزتر و هراس‌انگیزتر از هر نوع عقیده‌ای هستند که می‌گویند حیات توسط نیروهای اسرارآمیزی هدایت می‌شود که در ورای دسترس مشاهدات علمی قرار دارند.

این مفهوم که حیات همان شیمی است، به طور شگفت‌آوری ریشه در مطالعه بر روی فرایند تخمیر دارد، فرایندی که در آن، میکروب‌های ساده مخمر در خلال تولید نوشیدنی‌ها، الکل می‌سازند. این فرایند برای مدت‌های مدیدی مورد توجه و علاقه بشریت بوده است.

در واقع، زندگی خود من هم به شدت تحت تأثیر تخمیر بوده است، و این فقط بدین خاطر نیست که خودم از علاقه‌مندان نوشیدنی هستم؛ از تنها نشستن در کافه‌ای خالی در شب هنگام و فکر کردن به دنیا، لذت وافر می‌برم. وقتی که در هفده

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

سالگی دوران تحصیل در مدرسه را به پایان بردم، می‌دانستم که می‌خواهم زیست‌شناسی بخوانم. اما نتوانستم به دانشگاه راه پیدا کنم. در آن زمان مهارت ابتدایی در زبان خارجی که از طریق آزمونی به نام سطح آسنجیده می‌شد، یک پیش نیاز اجباری برای ورود به همه برنامه‌های تحصیلی لیسانس بود. اما من آزمون فرانسوی را شش بار رد شدم؛ احتمالاً صاحب رکوردی جهانی در زمینه رد شدن در این آزمون هستم! بنابراین من به دانشگاه نرفتم، و به جای آن به عنوان یک تکنسین در یک آزمایشگاه میکروبیولوژی متعلق به یک کارخانه آبجوسازی مشغول به کار شدم.

بخشی از وظیفه هر روزه من این بود که همه ترکیبات حاوی مواد غذایی را که دانشمندان برای پرورش میکروب‌هایشان نیاز داشتند، تهیه کنم. خیلی زود متوجه شدم که آن‌ها تقریباً همیشه دستورات روزانه مشابهی به من می‌دهند. بنابراین دوشنبه‌ها از همه آن‌ها آنقدری درست می‌کردم که تا پایان هفته دوام بیاورند. یک روز به نزد رئیس، ویک نیوت رفتم (یک شب او را در حال اجرای رقص پای پر شور و حرارت قزاق‌گونه‌ای بر روی یکی از نیمکت‌های آزمایشگاه دیدم و فهمیدم که او در اوقات فراغت‌اش، یک رقصنده رقص گرجی است). او به طور سخاوتمندانه‌ای به من پیشنهاد کرد که یک پروژه تحقیقاتی را درباره آلودگی تخم مرغ‌ها به سالمونلا انجام بدهم. من که در هیجده سالگی در آسمان‌ها سیر می‌کردم، در حین انجام آزمایش‌های روزانه، فکر می‌کردم که یک دانشمند واقعی هستم.

در همان سالی که در آبجوسازی فعالیت داشتم، یک پروفیسور دلسوز در دانشگاه بیرمنگام از من برای انجام یک مصاحبه دعوت کرد، و در نهایت آن دانشگاه را راضی کرد که ضعفم در زبان خارجی را نادیده بگیرد. و بدین ترتیب موفق شدم دوره زیست شناسی را در سال ۱۹۶۷ آغاز کنم. خنده‌دار این که منی که این همه در اوایل تحصیل با زبان مشکل داشتم، سی و پنج سال بعد به پاس تحقیقاتم در زمینه مخمرها شایسته دریافت جایزه لوژیون دونور از رئیس جمهور فرانسه تشخیص داده شدم. من حتی مجبور شدم که به زبان فرانسوی سخنرانی بکنم! اما علیرغم اینکه بیشتر زندگی‌ام را به مطالعه بر روی مخمر اختصاص داده‌ام، خودم هنوز هم یک قطره شراب یا آبجو درست نکرده‌ام.

مطالعه علمی بر روی تخمیر، در قرن هیجدهم توسط اشراف‌زاده و دانشمند فرانسوی، آنتوان لاووازیه، یکی از بنیان‌گذاران شیمی مدرن آغاز گردید. متأسفانه برای او و همین‌طور برای علم، لاووازیه به واسطه اینکه به طور پاره وقت به جمع‌آوری مالیات می‌پرداخت، سرش را در می ۱۷۹۴، در انقلاب فرانسه از دست داد. قاضی دادگاه سیاسی-انقلابی که وی را محکوم کرد، اعلام نمود که «جمهوری نیازی به علما و

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

شیمی دان‌ها ندارد». مشخص است که ما دانشمندان باید با احتیاط با سیاست‌مداران رفتار کنیم! سیاستمداران، بخصوص آن‌هایی که به حلقهٔ عوام فریب‌ها تعلق دارند، تمایل نامیمونی دارند که «متخصصین» را بخصوص وقتی که با آرای بی‌اساس آن‌ها به طور علمی برخورد می‌کنند، نادیده بگیرند.

لاووازیه پیش از مواجههٔ نابهنگام‌اش با گیوتین، شیفتهٔ فرایند تخمیر شده بود. او نتیجه‌گیری کرد که «تخمیر، واکنشی است شیمیایی که طی آن، قند آب انگور به اتانول شراب تبدیل می‌شود». هیچ کسی پیش از آن، از این منظر به تخمیر فکر نکرده بود. لاووازیه حتی پیش‌تر هم رفت، و بیان داشت که چیزی به نام «تخمیرکننده» (ferment) وجود دارد که از خود انگورها نشأت می‌گیرد و نقشی کلیدی در واکنش شیمیایی دارد. اما او نتوانست بگوید که این تخمیرکننده دقیقاً چیست.

حدود نیم قرن بعد، وقتی که تولیدکنندگان الکل صنعتی از زیست‌شناس و شیمیدان فرانسوی لویی پاستور خواستند که به آن‌ها در پرده برداشتن از راز از بین رفتن محصولات‌شان کمک کند، همه چیز روشن‌تر شد. آن‌ها می‌خواستند بفهمند که عامل اشتباه پیش رفتن فرایندهای تخمیر چغندرهای قندشان چیست که منجر به تولید اسیدی ترش و نامطبوع به جای اتانول می‌شود. پاستور همچون یک کارآگاه به سراغ این مشکل مرموز رفت. او با استفاده از یک میکروسکوپ، سرنخی مهم به دست آورد. رسوبات داخل خمره‌های تخمیری که الکل تولید می‌کنند، حاوی سلول‌های مخمر بودند. مخمر به وضوح زنده بود، زیرا بعضی‌های‌شان جوانه داشتند که نشان می‌داد آن‌ها فعالانه تکثیر می‌شوند. اما وقتی که به خمره‌های ترشیده نگاه انداخت، هیچ سلول مخمری در آن‌ها نیافت. پاستور براساس همین مشاهدات ساده بیان داشت که مخمر دارای حیات میکروبی، همان تخمیرکننده گریزپا است: عامل اصلی‌ای که مسئول تولید اتانول است. تعدادی میکروب دیگر، احتمالاً باکتری‌های کوچک‌تری، اسیدی را تولید می‌کنند که همهٔ محصول را خراب می‌کند.

نکته این بود که در اینجا رشد سلول‌های زنده، مسئول مستقیم واکنش شیمیایی خاصی بود. در این مورد، سلول‌های مخمر، گلوکز را به اتانول تبدیل می‌کردند. مهم‌ترین کاری که پاستور انجام داد، این بود که برای دست یافتن به نتیجه‌گیری‌ای جدید و مهم، از یک موضوع خاص به سمت موضوعی عام حرکت کرد. او بیان داشت که واکنش‌های شیمیایی فقط ویژگی جالبی از حیات سلولی نیستند، بلکه یکی از ویژگی‌های تعیین‌کننده و بارز حیات می‌باشند. پاستور با گفتن اینکه «واکنش‌های شیمیایی، جلوه‌ای از حیات سلول می‌باشند»، به طور درخشانی این موضوع را توضیح داد.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

ما امروزه می‌دانیم که درون سلول‌های همه موجودات زنده صدها و حتی هزاران واکنش شیمیایی به طور همزمان در حال انجام شدن هستند. این واکنش‌ها مولکول‌های حیات را زیاد کرده و موجب تولید اجزا و ساختارهای سلول‌ها می‌شوند. آن‌ها همچنین برای بازیافت اجزای سلولی، مولکول‌ها را می‌شکنند و انرژی آن‌ها را آزاد می‌کنند. مجموعه وسیعی از واکنش‌های شیمیایی را که در کنار یکدیگر در درون موجودات زنده انجام می‌گیرند، «متابولیسم» (سوخت و ساز) می‌نامند. متابولیسم پایه و اساس هر آن چیزی است که موجودات زنده انجام می‌دهند: حفظ و پایداری، رشد، سازماندهی و تکثیر، و متابولیسم منبع تمامی انرژی‌ای است که این فرایندها بدان نیاز دارند. متابولیسم، شیمی حیات است.

اما همه این واکنش‌های شیمیایی متنوع و متعددی که متابولیسم را تشکیل می‌دهند، چگونه به وجود می‌آیند؟ چه نوع ماده‌ای در مخمر پاستور وجود دارد که واکنش‌های شیمیایی مربوط به تخمیر را پیش می‌برد؟ یک شیمیدان دیگر فرانسوی به نام مارسلین بارتلو این راز را بیشتر مورد کندوکاو قرار داد و گامی به پیش نهاد. او سلول‌های مخمر را سایید، و از بقایای سلول آن‌ها ماده‌ای شیمیایی بیرون کشید که رفتار کنجکاو برانگیزی داشت. این ماده، واکنش شیمیایی بخصوصی را به راه انداخت - تبدیل قند خوراکی یا ساکارز به دو قند کوچک‌تر تشکیل‌دهنده آن: گلوکز و فروکتوز-، اما خودش طی این واکنش مصرف نمی‌شد. این ماده‌ای بی‌جان اما جزئی جدایی‌ناپذیر از یک فرآیند زنده بود، و مهم‌تر اینکه وقتی که از سلول خارج می‌شد هم به فعالیت خود ادامه می‌داد. او این ماده جدید را اینورتاز (invertase) نامید.

اینورتاز، یک آنزیم است. آنزیم‌ها کاتالیزور می‌باشند: یعنی اغلب به طور چشمگیری موجب تسهیل و سرعت بخشیدن به واکنش‌های شیمیایی می‌شوند. آن‌ها به شدت برای حیات اهمیت دارند. بسیاری از اساسی‌ترین فرایندهای شیمیایی حیات، به خصوص در دماهای نسبتاً پایین و شرایط آرام درون اغلب سلول‌ها، بدون وجود آن‌ها رخ نمی‌دادند. کشف آنزیم‌ها، شالوده‌ای را برای این دیدگاه مورد وفاق همگان - مشترک در میان همه زیست‌شناسان امروز - بنا کرد که می‌توان اغلب پدیده‌های حیات را از منظر واکنش‌هایی شیمیایی که توسط آنزیم‌ها کاتالیز می‌شوند، به بهترین شکل ممکن درک کرد. برای درک اینکه آنزیم‌ها چگونه به چنین جایگاهی دست پیدا کردند، ابتدا بایستی ببینیم که آن‌ها چیستند و چگونه ساخته می‌شوند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

اغلب آنزیم‌ها، از پروتئین‌هایی تشکیل شده‌اند که توسط سلول و به صورت مولکول‌هایی طویل و زنجیرگونه به نام پلیمر ساخته شده‌اند. ساختارهای پلیمر اساساً برای بسیاری از جنبه‌های شیمی حیات اهمیت دارند. علاوه بر اغلب آنزیم‌ها و همهٔ دیگر پروتئین‌ها، همهٔ مولکول‌های تشکیل‌دهندهٔ غشای سلولی، همهٔ چربی‌ها و کربوهیدرات‌هایی که انرژی را در خود ذخیره می‌کنند، و نوکلئیک اسیدهای مسئول توارث، دئوکسی ریبونوکلئیک اسید (DNA) و ریبونوکلئیک اسید (RNA) های بسیار مرتبط با آن‌ها، همگی شان پلیمر هستند.

این پلیمرها اساساً فقط از اتم‌های پنج عنصر شیمیایی ساخته شده‌اند: کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و فسفر. از میان این عناصر، کربن نقش مرکزی ویژه‌ای را ایفا می‌کند، و این عمدتاً به چند ظرفیتی بودن آن برمی‌گردد. در حالی که برای مثال، اتم‌های هیدروژن تنها یک اتصال -یا همان پیوند شیمیایی- با دیگر اتم‌ها برقرار می‌کنند، هر اتم کربن می‌تواند با چهار اتم دیگر پیوند برقرار کند. این موضوع در توانایی پلیمرسازی کربن، نقشی کلیدی ایفا می‌کند: دو تا از چهار پیوند بالقوهٔ کربن می‌توانند با دو اتم دیگر، غالباً با اتم‌های کربن دیگر برقرار شوند، و زنجیره‌ای از اتم‌های متصل به هم به وجود بیاورند - هستهٔ هر پلیمر. بدین ترتیب دو پیوند آزاد دیگر برای هر کربن وجود دارد که می‌تواند با دیگر اتم‌ها برقرار کند. با کمک این پیوندهای اضافی، می‌توان مولکول‌های دیگری را به کناره‌های زنجیرهٔ سلولی پلیمر افزود.

بسیاری از پلیمرهایی که در سلول‌ها یافت می‌شوند، مولکول‌های بسیار بزرگی می‌باشند، در واقع آنقدر بزرگ که نام مخصوصی دارند: درشت‌مولکول‌ها. برای درک میزان بزرگ بودن این مولکول‌ها، به یاد بیاورید که طول درشت‌مولکول‌های DNA ی موجود در هستهٔ هر کدام از کروموزوم‌های شما، می‌توانند تا چندین سانتیمتر برسند. این بدین معنی است که آن‌ها میلیون‌ها اتم کربن را در رشتهٔ مولکولی‌ای به غایت بلند اما نازک گرد هم آورده‌اند.

پلیمرهای پروتئین چندان بلند نیستند، و معمولاً براساس چند صد تا چند هزار اتم کربن متصل به هم شکل گرفته‌اند. اما آن‌ها از نظر شیمیایی بی‌ثبات‌تر از DNA هستند و عمدتاً به همین دلیل است که می‌توانند به عنوان آنزیم فعالیت کنند و لذا نقش مسلطی در متابولیسم داشته باشند. هر پروتئین، یک پلیمر با هسته‌ای کربنی است که از اتصال یک به یک مولکول‌های آمینواسید به یکدیگر، در درون زنجیره‌ای طولانی تشکیل شده است. برای مثال، اینورتاز مولکول پروتئینی است که از اتصال ۵۱۲ آمینو اسید به یکدیگر، در درون یک توالی خاص و منظم ساخته شده است. حیات از ۲۰ آمینو اسید متفاوت بهره می‌برد. هر کدام از آن‌ها دارای مولکول‌هایی

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

جانبی می باشند که از زنجیره اصلی پلیمر منشعب شده اند، و ویژگی های شیمیایی متمایزی به آن ها می بخشند. برای مثال، بعضی از آمینو اسیدها دارای بار منفی یا مثبت می باشند، و بعضی دیگر از آن ها جاذب یا دافع آب هستند، و بعضی های شان به راحتی می توانند پیوندهایی با دیگر مولکول ها برقرار کنند. سلول ها می توانند با زنجیره کردن ترکیب های مختلفی از آمینو اسیدها - هر کدام شان با مولکول های جانبی متفاوتی - به یکدیگر، طیف وسیعی از مولکول های مختلف پروتئین را ایجاد کنند.

سپس وقتی که این زنجیره های خطی پروتئین به یکدیگر چفت و بست شدند، می توانند تا شده، بچرخند و به همدیگر پیوندند و ساختارهای سه بعدی پیچیده ای را به وجود بیاورند. تقریباً مثل یک تکه نوار چسب که می تواند آنقدر به دور خودش پیچد که یک توپ در هم پیچیده را به وجود بیاورد؛ اما پروتئین ها در فرایندی بسیار تکرارپذیرتر به دور خود می پیچند تا ساختاری بسیار دقیق را به وجود بیاورند. در یک سلول، همان رشته همیشگی آمینو اسید سعی می کند تا همان شکل خاص همیشگی اش را به خود بگیرد. این جهش از فضای یک بعدی به سه بعدی، بسیار حیاتی است، زیرا بدین معنی است که هر پروتئینی دارای یک شکل فیزیکی متعین و مجموعه منحصر به فردی از پروتئین های شیمیایی می باشد. در نتیجه، سلول ها می توانند به گونه ای آنزیم ها را بسازند که آن ها به خوبی بتوانند با موادی شیمیایی که بر روی شان کار انجام می دهند، جفت و جور بشوند - برای مثال، اینورتاز و ساکارز کاملاً با هم تناسب دارند. این موضوع به نوبه خود، به آنزیم ها این امکان را می دهد که شرایط شیمیایی مورد نیاز برای محقق شدن واکنش های شیمیایی بخصوصی را به طور دقیق فراهم کنند.

آنزیم ها تقریباً در همه واکنش های شیمیایی ای که پایه و اساس متابولیسم سلولی را تشکیل می دهند، به ایفای نقش می پردازند. اما علاوه بر ساختن و تخریب مولکول های دیگر، مسئولیت های دیگری نیز برعهده آن ها قرار دارد. آن ها کیفیت را کنترل می کنند، ترکیبات و پیغام ها را در بین نقاط مختلف سلول جابجا می کنند، و مولکول های دیگر را به درون و بیرون سلول انتقال می دهند. بعضی دیگر از آن ها گوش به زنگ مهاجمان هستند، و پروتئین هایی را فعال می کنند که از سلول ها و در نتیجه از بدن های مان در مقابل بیماری دفاع می کنند. و آنزیم ها تنها گونه از پروتئین ها نیستند. تقریباً همه بخش های بدن های ما - از موهای روی سرهای مان گرفته تا اسید درون معده های مان و عدسی داخل چشم های مان - یا از پروتئین ساخته شده اند، و یا توسط پروتئین ها به وجود آمده اند. همه این پروتئین ها طی یک هزار سال تکامل اصلاح شده اند تا وظایف ویژه ای را در درون سلول انجام بدهند. حتی یک سلول نسبتاً ساده هم حاوی تعداد زیادی از مولکول های پروتئین می باشد. در مجموع، بیش

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

از ۴۰ میلیون عدد از آن‌ها در درون یک سلول ریز مخمر وجود دارد؛ یعنی تعداد پروتئین‌های موجود در یک سلول ریز، دو برابر جمعیت ساکن در شهر غول‌پیکری مانند پکن می‌باشد!

نتیجه یک چنین تنوعی از پروتئین‌ها، آشفته‌بازاری از واکنش‌های شیمیایی است که همیشه در همه سلول‌ها در حال رخ دادنند. اگر تصور کنید که دارید با چشمانی که می‌توانند دنیای درون سلول‌ها را ببینند، به درون یک سلول زنده بنگرید، بلبشوی جوشانی به سمت حواس‌تان یورش خواهد آورد. برخی از مولکول‌های درگیر، دارای بار الکتریکی هستند، و این باعث می‌شود که چسبنده یا دارای دافعه باشند؛ در حالی که بعضی دیگر از آن‌ها خنثی هستند. بعضی از آن‌ها اسیدی و بعضی دیگر قلیایی می‌باشند. همه این مواد متفاوت دائماً - یا طی برخوردهایی اتفاقی یا تلاقی‌های برنامه‌ریزی شده‌ای- در حال کنش و واکنش با یکدیگر می‌باشند. گاهی اوقات مولکول‌ها موقتاً به هم می‌رسند تا از طریق تبادل سریع الکترون‌ها یا پروتون‌ها، با هم کنش و واکنش شیمیایی برقرار کنند. گاهی نیز مولکول‌ها از طریق برقراری پیوندهای محکم و پایدار، به لحاظ شیمیایی متصل به هم باقی می‌مانند. روی هم رفته، سلول حاوی چندین هزار واکنش شیمیایی مختلف می‌باشد که پیوسته و بی‌وقفه در حال فعالیت هستند تا حیات را در وضعیت پایداری نگاه دارند. تعداد واکنش‌های شیمیایی که حتی در بزرگ‌ترین کارخانه شیمیایی صنعتی استفاده می‌شوند، در مقابل این واکنش‌ها رنگ می‌بازند. برای مثال، یک کارخانه پلاستیک احتمالاً تنها براساس چند ده واکنش شیمیایی فعالیت می‌کند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

همه این فعالیت‌های سریع و دیوانه‌وار، در انتهای دیگر طیف زمان و در نقطه مقابل زمان ژرفی قرار گرفته‌اند که برای تکامل یافتن این سیستم‌ها، بدان احتیاج داریم. اما درک مقیاس زمانی سرگیجه‌آور دنیای سلول‌ها به همان اندازه هضم کردن زمان تکاملی، ثقیل و دشوار است. بعضی از آنزیم‌هایی که این واکنش‌ها را در درون سلول کنترل می‌کنند، با سرعت حیرت‌آوری فعالیت می‌کنند و در هر ثانیه از پس هزاران و حتی میلیون‌ها واکنش شیمیایی بر می‌آیند. این آنزیم‌ها فقط بسیار سریع نیستند، بلکه دقت بسیار بالایی نیز دارند. آن‌ها می‌توانند با چنان سطحی از دقت و اطمینان با اتم‌های بخصوصی کار کنند که مهندسان شیمی خوابش را هم نمی‌توانند ببینند. اما از طرف دیگر تکامل را داریم که برای میلیارد‌ها سال - طولانی‌تر از قدمت ما انسان‌ها! - به اصلاح همین فرایندها مشغول بوده است.

ممکن شدن مسیر همه این فعالیت‌ها در کنار یکدیگر، دست‌آورد خارق‌العاده‌ای است. اگرچه مجموعه گسترده‌ای از واکنش‌های شیمیایی که همزمان با هم در سلول پیش می‌روند، ممکن است آشوبناک به نظر برسد، در واقع آن‌ها به شدت منظم می‌باشند. برای اینکه آن‌ها به خوبی فعالیت کنند، هر کدام از این واکنش‌های متفاوت به شرایط شیمیایی خاص خودشان نیاز دارند. بعضی‌هایشان به محیط اسیدی و بعضی دیگر به محیط قلیایی احتیاج دارند؛ گروهی از آن‌ها به یون‌های شیمیایی بخصوصی از قبیل کلسیم، منیزیم، آهن یا پتاسیم نیاز دارند. برخی دیگر به آب نیاز دارند و یا در حضور آب از سرعت‌شان کاسته می‌شود. اما همه این واکنش‌های مختلف شیمیایی باید به نوعی هم همزمان با یکدیگر و هم بسیار تنگاتنگ با هم در فضاها و کوچکی از سلول پیش بروند. این امر فقط در صورتی میسر می‌شود که هر کدام از آنزیم‌های مختلف، به دماها و فشارها، و شرایط بازی و اسیدی به شدت متفاوتی نیاز نداشته باشند، درست مثل آنزیم‌های موجود در تأسیسات شیمیایی صنعتی. اگر آن‌ها به شرایط بسیار متفاوتی نیاز داشتند، اصلاً نمی‌توانستند این چنین نزدیک به هم فعالیت کنند. با این حال، بسیاری از این واکنش‌های متابولیکی هنوز هم باید از یکدیگر جدا نگه داشته شوند. آن‌ها نباید مزاحم کار یکدیگر بشوند، و باید همه احتیاجات شیمیایی ویژه‌شان را در دسترس‌شان داشته باشند. کلیدِ حال این مشکل، منطقه‌بندی (compartmentation) است.

منطقه‌بندی شیوه‌ای است برای اینکه سیستم‌های پیچیده‌ای متشکل از اجزای مختلف بتوانند به فعالیت خود ادامه بدهند. شهرها را در نظر بگیرید. آن‌ها فقط در صورتی به خوبی به فعالیت خود ادامه می‌دهند که به صورت مناطق مختلفی با وظایفی خاص سازماندهی بشوند: ایستگاه‌های راه‌آهن، ایستگاه‌های برق، بیمارستان‌ها، کارخانجات، ایستگاه‌های پلیس، نیروگاه‌ها، تأسیسات دفع فاضلاب و

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

الی آخر. شهر برای اینکه بتواند به خوبی و به عنوان یک کلیت فعالیت کند، به همه این‌ها و بسیاری چیزهای دیگر نیاز دارد. اما اگر همه آن‌ها با هم تداخل کنند و اختلال وظایف به وجود بیاید، همه چیز فرو می‌پاشد. برای اینکه آن‌ها بتوانند عملکرد مناسبی داشته باشند، باید از هم جدا شوند. اما از طرف دیگر، باید نسبتاً نزدیک به یکدیگر بوده و با هم در ارتباط باشند. همین موضوع برای سلول‌ها نیز صادق است، لازم است که مجموعه مشخص و متمایزی از ریزمحیط‌های شیمیایی به وجود بیاید که از نظر فضای فیزیکی یا از نظر زمانی، از یکدیگر جدا نگه داشته شوند، اما در عین حال به هم متصل هم باشند. موجودات زنده با ساختن سیستم‌هایی متشکل از منطقه‌هایی در تعامل با یکدیگر که از نظر ابعاد تنوع هم دارند، از بسیار بزرگ تا فوق‌العاده کوچک، به این منظور دست پیدا می‌کنند.

بزرگ‌ترین این ابعاد، احتمالاً آشناترین آن‌ها برای ما می‌باشند: بافت‌ها و اندام‌های موجوداتی چند سلولی مانند گیاهان و حیوانات - مانند من و شما. هر کدام از آن‌ها، منطقه‌هایی متمایز از یکدیگر می‌باشند که مطابق فرایندهای شیمیایی و فیزیکی خاصی تغییر کرده و اصلاح شده‌اند. معده و روده‌های شما، مواد شیمیایی موجود در غذاها را هضم می‌کنند؛ کبدتان مواد شیمیایی و داروها را سم‌زدایی می‌کند؛ قلب‌تان از انرژی شیمیایی برای پمپاژ خون استفاده می‌کند و الی آخر. وظایف این اندام‌ها به سلول‌ها و بافت‌های تخصص‌یافته تشکیل دهنده‌شان بستگی دارد: سلول‌های دیواره داخلی معده، اسید ترشح می‌کنند، در حالی که سلول‌های موجود در ماهیچه‌های قلب منقبض می‌شوند. در همه این سلول‌ها نیز به نوبه خود، منطقه‌بندی‌هایی وجود دارد.

در واقع سلول، مثالی بنیادین از منطقه‌بندی حیات می‌باشد. وظیفه اصلی غشای دورتادور سلول، جدا نگه داشتن محتویات سلول از بقیه دنیای اطراف می‌باشد. به لطف تأثیر جداکنندگی این غشاء است که سلول‌ها می‌توانند برای حفظ جزیره ثبات شیمیایی و فیزیکی فعالیت کنند. البته سلول‌ها این وضعیت را فقط به طور موقت می‌توانند حفظ کنند: وقتی آن‌ها دست از فعالیت می‌کشند، می‌میرند و در گرداب آشوب و بی‌نظمی فرو می‌روند.

خود سلول نیز دارای لایه‌هایی متوالی از منطقه‌بندی می‌باشد. بزرگ‌ترین این مناطق، اندامک‌های غشادار مانند هسته و میتوکندری می‌باشند. اما پیش از اینکه ببینیم که آن‌ها چگونه فعالیت می‌کنند، ابتدا باید بر روی سطوح ساده‌تری از پلیمرهای کربنی متمرکز بشویم. زیرا همه منطقه‌های بزرگ‌تر، حول و براساس ویژگی‌های همین اجزای ابتدایی شکل گرفته‌اند.

کوچک‌ترین مناطق شیمیایی در درون سلول، سطح خود مولکول‌های آنزیم می‌باشد.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

برای اینکه درک درستی از میزان کوچک بودن این مولکول‌ها پیدا کنید، به موهای بسیار ظریف پشت دست‌تان نگاهی بیندازید. آن‌ها ظریف‌ترین ساختارهایی هستند که شما می‌توانید با چشمان غیرمسلح به آن‌ها نگاه کنید. اما این موها در مقایسه با پروتئین‌های آنزیم، حجیم هستند. چیزی حدود دو هزار مولکول اینورتاز می‌توانند کنار هم، در مقطع عرضی هر کدام از این موهای‌تان جا بشوند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

هر مولکول پروتئین آنزیمی، فضاهای بسته و مکان‌های متصل به همی و دارای اشکال معینی در مقیاس اتم‌هایی خاص را فراهم می‌کند، تا بتواند با مولکول‌های بخصوصی که بر روی آن‌ها کار می‌کند، همکاری داشته باشد. این ساختارهای دقیق به قدری کوچک هستند که حتی با قوی‌ترین میکروسکوپ‌های نوری هم نمی‌توان آن‌ها را مشاهده کرد. محققان بایستی با استفاده از تکنیک‌هایی مانند بلورنگاری پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی کرایو به اشکال و ویژگی‌های آن‌ها پی ببرند، و از این طریق نگرش ما را به میزان فوق‌العاده‌ای گسترش بدهند. و به ما این امکان را می‌دهند که جایگاه‌ها و ویژگی‌های هزاران هزار اتم متصل به یکدیگر را که اجزای تشکیل‌دهنده‌شان می‌باشند، تشخیص بدهیم. بنابراین محققان می‌توانند ببینند که آنزیم‌ها چگونه در برهمکنش با کمک مواد شیمیایی‌ای، آن‌ها در حین واکنش دخل تصرف می‌کنند. این مواد شیمیایی را «مادهٔ زمینه» (substrate) می‌نامند. آنزیم‌ها و مواد زمینه‌شان، مثل قطعات یک جورچین سه بعدی ریز با یکدیگر جفت و جور می‌شوند. وقتی اجزای این جورچین به یکدیگر می‌رسند، واکنش‌های شیمیایی از بقیهٔ سلول جدا نگه داشته می‌شوند، و در زاویه‌ای درست و در شرایط شیمیایی مناسبی در حضور آنزیم‌ها قرار می‌گیرند، تا با دستکاری اتم‌هایی بخصوص و ایجاد یا شکستن پیوندهای خاص مولکولی، عمل جراحی اتمی بسیار دقیقی را انجام دهند. برای مثال، اینورتاز وظیفه‌اش این است که یک پیوند خاص در بین یک اتم اکسیژن و یک اتم کربن را که در میان یک مولکول ساکارز قرار دارد، بشکند.

آنزیم‌ها برای اطمینان از اینکه محصول یک واکنش، مستقیماً به واکنش دیگری منتقل می‌شود تا به نوبهٔ خود، به مادهٔ زمینهٔ آن واکنش مبدل گردد، می‌توانند با یکدیگر همکاری کنند. بدین ترتیب، مجموعهٔ کاملی از واکنش‌هایی شیمیایی که برای فرایندهای پیچیده لازم هستند، مانند آن‌هایی که برای ساخت غشاهای لیپیدی یا دیگر اجزای شیمیایی پیچیده متشکل از عناصری ساده‌تر لازم می‌باشند، می‌توانند با یکدیگر هماهنگ شوند. زیست‌شناسان این مجموعهٔ فرایندهای شیمیایی در تعامل با یکدیگر و پیچیده را گذرگاه‌های متابولیکی (metabolic pathway) می‌نامد که بعضی‌های‌شان واکنش‌های متفاوت و زیادی را در بر می‌گیرند. آن‌ها مانند خط تولید یک کارخانه عمل می‌کنند؛ هر مرحله‌ای باید پیش از محول شدن آن کنش به مرحلهٔ بعدی، تکمیل گردد.

آنزیم‌ها می‌توانند به منظور پیش بردن کنش‌های حتی پیچیده‌تر سنتز، مانند رونوشت‌برداری از DNA با دقتی خارق‌العاده هم به همکاری با یکدیگر پردازند. بهترین راه برای تصور کردن این آنزیم‌هایی که بدین گونه عمل می‌کنند، این است که آن‌ها را همچون ماشین‌های مولکولی بسیار ریزی ببینیم که در کمال دقت و اطمینان

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

کارشان را انجام می‌دهند. بعضی از این ماشین‌های مولکولی برای انجام کارهای فیزیکی در درون سلول، از انرژی شیمیایی استفاده می‌کنند. این‌ها شامل پروتئین‌هایی می‌شوند که مانند «موتورها» بی مولکولی فعالیت می‌کنند، و نیروی بیشتر حرکات خود سلول‌ها و محموله‌ها و ساختارهای درون سلول‌ها را تأمین می‌کنند. بعضی از این وظایف، عبارتند از فرستادن محرک‌ها، و حمل اجزای سلولی و مواد شیمیایی به بخش‌های از سلول که بدان‌ها نیاز دارند. آن‌ها برای این منظور، در مسیرهای پیچیده‌ای حرکت می‌کنند که خود نیز از جنس پروتئین هستند و فضای درونی سلول را مانند شبکه به شدت منشعب ریل‌های راه آهن، به طور متقاطع قطع کرده‌اند. محققان فیلم‌هایی از این موتورهای مولکولی ریز در حال حرکت تهیه کرده‌اند و مشاهده کرده‌اند که آن‌ها مانند ربات‌های ریز در سرتاسر سلول «راه می‌روند». این موتورها دارای سازوکارهای چرخ و زبانه‌مانندی هستند که آن‌ها را به حرکت وا می‌دارند و به آنان کمک می‌کنند تا از برخورد ناگهانی و غیرمترقبه با دیگر مولکول‌ها پرهیز کنند.

نسخه‌هایی از این موتورهای مولکولی نیز نیروی لازم برای جداسازی کروموزوم‌ها از یکدیگر و نصف کردن سلول در حال تقسیم را تولید می‌کنند. و اگرچه این موتورهای مولکولی بی‌نهایت کوچک هستند، اما با همکاری میلیاردها عدد از آن‌ها در میان میلیون‌ها سلول ماهیچه، می‌توانند توان لازم برای بال‌های پروانه‌های زردی را فراهم کنند که در میان باغ‌ها بال بال می‌زنند، به چشمان ما اجازه می‌دهند تا کلمات روی این صفحه را دنبال کنند، و به یوزپلنگ‌ها توان دویدن با سرعت‌های شگفت‌انگیزی را می‌دهند. ترکیب تأثیرات کوچک این پروتئین‌های بخصوص و کار کردن در تعدادهای بسیار زیاد در سلول‌های فراوان، منجر به نتایجی می‌شوند که ما آن‌ها را در دنیای واقعی، به چشم خود می‌بینیم.

در مقیاسی بزرگ‌تر از آنزیم‌های خاص و ماشین‌های مولکولی، گروهی از پروتئین‌ها می‌توانند به صورت فیزیکی به همدیگر دوخته شوند و مجموعه‌ای از ابزارهای سلولی را بسازند که فرایندهای شیمیایی پیچیده‌تری را هدایت می‌کنند. ریبوزوم‌ها مهم‌ترین این گروه از پروتئین‌ها می‌باشند که اتفاقاً محل تولید پروتئین‌ها هم هستند. هر ریبوزومی با همکاری چندین مولکول بزرگ RNA، عموزاده‌های شیمیایی DNA، از ده‌ها پروتئین ساخته شده‌اند. ریبوزوم‌ها بزرگ‌تر از آنزیم‌های معمول می‌باشند - به جای چندین هزار، چند صد عدد از آن‌ها می‌توانند پهلوی پهلوی یکدیگر در یک مقطع عرضی از موی دست جا بگیرند، اما آن‌ها هنوز بسیار کوچک‌تر از آن هستند که به طور مستقیم و بدون کمک میکروسکوپ الکترونی دیده شوند. سلول‌هایی که در حال رشد و تکثیر هستند، نیاز بسیار زیادی به پروتئین‌های جدید دارند. برای همین

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

هر کدام از آن‌ها می‌توانند چندین میلیون ریبوزوم را در خود جای بدهند. یک ریبوزوم برای ساختن یک مولکول جدید پروتئین، باید رمز ژنتیکی ژن خاصی را بخواند و آن را به الفبای بیست حرفی آمینواسیدهای تشکیل‌دهنده پروتئین‌ها ترجمه کند. برای این منظور، سلول در ابتدا بایستی رونوشتی موقتی از روی یک ژن خاص تهیه کند. این رونوشت، از RNA ساخته شده است. این رونوشت به مثابه یک پیک عمل می‌کند که در واقع RNA پیک یا پیام‌رسان (Messenger RNA) هم نامیده می‌شود. زیرا در حالی که رونوشتی از اطلاعات ژن را به همراه دارد، به طور فیزیکی از ژن‌های درون هسته به ریبوزوم انتقال داده می‌شود. ریبوزوم با چیدن آمینواسیدها به ترتیبی که توسط ژن دیکته شده است، از RNA پیک همانند شابلونی برای ساختن پروتئین استفاده می‌کند. ریبوزوم با ایجاد ریزمحیطی مجزا و به شدت ساختارمند، تضمین می‌کند که این فرایند چند مرحله‌ای و چند آنزیمی، با کمال دقت و به سرعت رخ دهد: هر ریبوزومی تنها در عرض حدوداً یک دقیقه می‌تواند پروتئینی با اندازه‌ای متوسط و متشکل از حدود ۳۰۰ آمینواسید را بسازد.

اندامک‌های سلول اگرچه در مقایسه با چیزهایی در ابعاد انسانی، هنوز بسیار بسیار کوچک می‌باشند، اما بسیار بزرگ‌تر از ریبوزوم‌ها هستند. هر کدام از اندامک‌ها پوششی از غشای لیپیدی مختص به خودشان دارند. این‌ها لایه مهمی از منطقه‌بندی در درون سلول‌های یوکاریوتی را به وجود می‌آورند. در مرکز هر کدام از این سلول‌ها، اندامکی قرار دارد که آن را با نام هسته می‌شناسیم. هسته در زیر میکروسکوپ، معمولاً مرئی‌ترین اندامک‌ها می‌باشد. اما هسته هنوز کوچک‌تر از سلول می‌باشد؛ دو یا سه سلول گلبول سفید بدن‌تان، در یک مقطع عرضی از موهای ظریف روی دست‌تان جا می‌شوند. هر کدام از آن‌ها تنها حدود ۱۰ درصد از حجم یک سلول گلبول سفید را اشغال می‌کند. اما به خاطر داشته باشید که در این فضای به طور باورنکردنی کوچک، رونوشت کاملی از همه DNA ی شما، متشکل از ۲۲۰۰۰ ژن - که وقتی که از هم باز می‌شوند، دو متر طول دارند - در آن قرار گرفته است.

همه فعالیت‌های شیمیایی متفاوتی که سلول را زنده نگاه می‌دارند، به انرژی، در واقع به انرژی زیادی هم نیاز دارند. امروزه اکثریت بزرگی از اشکال حیاتی که دورتادور ما را فرا گرفته‌اند، در نهایت انرژی‌شان را از خورشید کسب می‌کنند. کلروپلاست (chloroplast)، اندامک مهم دیگری برای حیات، به این منظور نائل شده است. این اندامک، بر خلاف هسته، در درون سلول‌های جانوری وجود ندارد، تنها در گیاهان و جلبک‌ها یافت می‌شود. کلروپلاست‌ها، مقرر فتوسنتز هستند: مجموعه‌ای از واکنش‌های شیمیایی که از انرژی خورشید برای تبدیل کردن آب و کربن دی‌اکسید به قند و اکسیژن استفاده می‌کنند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

آنزیم‌های مورد نیاز برای فتوسنتز، در درون دو لایه غشایی که هر کلروپلاست را در بر گرفته است، چیده شده‌اند. در هر کدام از سلول‌های موجود در برگ‌های علف‌های پارک محله‌تان، چیزی حدود صد عدد از این اندامک‌های تقریباً کروی شکل جای گرفته‌اند که همه‌شان حاوی مقادیر بالایی از پروتئینی به نام کلروفیل یا سبزینه (Chlorophyll) می‌باشند. این کلروفیل‌ها، عامل سبز بودن آن علف هستند: آن‌ها انرژی را از بخش‌های آبی و زرد طیف نوری جذب می‌کنند، تا با کمک آن انرژی لازم جهت فتوسنتز را فراهم کنند؛ و در نهایت طول موج‌های سبز را بازتاب می‌دهند.

گیاهان، جلبک‌ها و بعضی از باکتری‌هایی که قادر به انجام فتوسنتز هستند، از قندهای ساده‌ای که تولید می‌کنند، به عنوان منبع فوری انرژی و همچنین ماده خامی برای ساختن دیگر مولکول‌های مورد نیاز برای بقا استفاده می‌کنند. آن‌ها همچنین قندها و هیدرات‌های کربنی را می‌سازند که توسط بسیاری از موجودات زنده دیگر مصرف می‌شوند: قارچ‌هایی که از چوب‌های در حال فساد تغذیه می‌کنند، گوسفندانی که علف‌ها را می‌چرند، نهنگ‌هایی که چندین تن پلانکتون فتوسنتزکننده موجود در دریا را یکجا می‌بلعند، و همه محصولات کشاورزی که بقای انسان‌ها را در تمامی قاره‌های زمین میسر کرده‌اند. در واقع کربنی که تا این اندازه برای ساختن همه اعضای بدن مان مهم و ضروری است، نهایتاً از فتوسنتز حاصل می‌شود. همه چیز از کربن دی‌اکسیدی شروع می‌گردد که طی واکنش‌های شیمیایی فتوسنتز از هوا استخراج می‌شود.

شیمی فتوسنتز فقط انرژی و مواد خامی را برای ساختن بخش اعظم حیات روی کره زمین در زمان حاضر فراهم نمی‌کند، بلکه نقشی تعیین‌کننده در شکل دادن به تاریخ سیاره‌مان نیز ایفا می‌کند. به نظر می‌رسد که حیات برای اولین بار در حدود ۳/۵ میلیارد سال پیش - قدمت کهن‌ترین فسیل‌های که تاکنون کشف شده‌اند - پدیدار شده است. آن‌ها میکروب‌هایی تک سلولی بودند که احتمالاً انرژی مورد نیازشان را از منابع زمین گرمایی به دست می‌آوردند. از آنجا که در اولین دوره حیات بر روی زمین، فتوسنتزی انجام نمی‌شد، منبع مهم اکسیژنی هم وجود نداشت. در نتیجه، تقریباً هیچ اکسیژنی در جو پیدا نمی‌شد، و وقتی که اشکال اولیه حیات با اکسیژن مواجه شدند، متحمل مشکلات زیادی گشتند.

اگرچه ما تصور می‌کنیم که اکسیژن زندگی بخش می‌باشد، و در واقع همین طور هم هست، گازی به شدت واکنش‌پذیر است که می‌تواند موجب آسیب زدن به مواد شیمیایی دیگر از قبیل پلیمرهای ضروری برای حیات مانند DNA شود. وقتی که در تکامل، توانایی فتوسنتز در میکروب‌ها به وجود آمد، آن‌ها طی هزاران سال به قدری تکثیر شدند که موجب افزایش ناگهانی میزان اکسیژن موجود در اتمسفر شدند. در

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

نتیجه، بین ۲ تا ۲/۴ میلیارد سال پیش، چیزی رخ داد که آن را فاجعه بزرگ اکسیژن (Great Oxygen Catastrophe) می نامند. همه موجودات زنده‌ای که در آن زمان وجود داشتند، میکروب‌ها شامل باکتری‌ها و آرکئا بودند. اما محققین بر این باور هستند که «بیشتر» آن‌ها در حضور آن حجم از اکسیژن تلف شدند. عجیب و غریب است که حیات نتیجه شرایطی است که تقریباً حیات را تالیه نابودی پیش برد. اقلیتی از اشکال حیات که نجات پیدا کردند، یا به مکان‌هایی عقب نشستند که کمتر در معرض اکسیژن قرار بگیرند، شاید در اعماق دریاها یا در اعماق زمین، یا اینکه مجبور شدند سازش پیدا کرده و واکنش‌های شیمیایی جدید مورد نیاز برای بالیدن در دنیایی اکسیژن زده را در خود تکامل ببخشند.

امروزه موجودات زنده‌ای مانند ما انسان‌ها هنوز اکسیژن را با دقت استفاده می کنند. اما ما کاملاً به اکسیژن وابسته هستیم، زیرا باید با کمک آن، انرژی موجود در قندها، چربی‌ها و پروتئین‌هایی که بدن‌هامان می خورند، می سازند یا جذب می کنند را آزاد کنیم. این امر طی فرایندی شیمیایی به نام تنفس سلولی میسر می گردد. آخرین مرحله از این مجموعه واکنش‌ها، در درون میتوکندری انجام می گیرد: اندامک دیگری که برای همه سلول‌های یوکاریوتی بسیار مهم است.

نقش عمده میتوکندری‌ها، تولید انرژی‌ای است که سلول‌ها برای به راه انداختن واکنش‌های شیمیایی مربوط به حیات بدان نیاز دارند. به همین دلیل است که سلول‌هایی که به انرژی زیادی نیاز دارند، حاوی تعداد زیادی میتوکندری هستند: برای اینکه بیشتر به هیجان بیایید، باید بگویم که هر کدام از سلول‌های موجود در ماهیچه‌های قلب‌تان بایستی چندین هزار میتوکندری را به کار بگیرند. در مجموع، آن‌ها حدود ۴۰ درصد از فضای در دسترس در درون این سلول‌های قلب را اشغال کرده‌اند. اگر بخواهیم از منظر شیمی صرف بنگریم، تنفس سلولی در واقع واکنش اصلی فتوسنتز را معکوس می کند. قند و اکسیژن با همدیگر واکنش نشان می دهند تا آب و دیوکسید کربن تولید کنند، و انرژی زیاد آزاد شده را برای مصارف بعدی گیر می اندازند. میتوکندری‌ها تضمین می کنند که این فعل و انفعالات چند مرحله‌ای به شدت کنترل شده و قدم به قدم رخ بدهند، بی آنکه انرژی زیادی اتلاف گردد، و بی آنکه اکسیژن و الکترون‌ها جدا شوند و به بقیه سلول صدمه بزنند.

مرحله کلیدی گیر انداختن انرژی در تنفس سلولی، بر تحرکات پروتون‌هایی متکی است که در واقع همان اتم‌های منفرد هیدروژن می باشند که یک الکترون از آن‌ها جدا شده است تا آن‌ها بار الکتریکی پیدا کنند^{۲۲}. این پروتون‌ها از درون میتوکندری به بیرون رانده می شوند و در فضای بین دو غشایی قرار می گیرد که هر میتوکندری را محصور کرده‌اند. این موضوع موجب گردآمدن پروتون‌های باردار بیشتری در بیرون از

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

غشای درونی میتوکندری نسبت به فضای داخلی میتوکندری می شود. این فرایند اگرچه بر اساس شیمی کار می کند، اما اساساً فرایندی است فیزیکی. می توان آن را شبیه به پمپاژ کردن آب به بالای یک تپه و پر کردن یک مخزن دانست. در یک نیروگاه برقابی، آب را از درون مخزن به پایین تپه رها می کنند تا از طریق توربین ها، انرژی جنبشی آب به انرژی الکتریکی تبدیل شود. در مورد میتوکندری ها، پروتون های پمپاژ شده به آنسوی «مخزن» غشاء، از طریق کانال هایی پروتئینی به درون اندامک برگردانده می شوند و انرژی تولید شده توسط آبشاری از این ذرات باردار گیر انداخته می شود که آن را به شکل پیوندهای شیمیایی پرانرژی ذخیره می کنند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

اولین نفری که به فکرش رسید که سلول‌ها احتمالاً انرژی‌شان را به چنین روش غیرمنتظره‌ای تولید می‌کنند، بیوشیمیدان بریتانیایی و برنده جایزه نوبل، پیترو میچل بود. او در دیپارتمان جانورشناسی دانشگاه ادینبرو کار می‌کرد که بعدها من هم در آنجا بر روی چرخه سلولی مخمر کار می‌کردم. اما آن وقتی که در ادینبرو مشغول به کار شدم، او برای تأسیس آزمایشگاه شخصی خودش آنجا را ترک گفته و به زمین‌های بایر در جنوب غربی انگلستان رفته بود. این کار بسیار غیرمعمولی بود و بسیاری او را به چشم یک بریتانیایی عجیب و غریب نگاه می‌کردند. من در اواخر دهه هفتاد زندگی‌اش با وی ملاقات کردم و مرا تحت تأثیر کنجکاوی بی‌وقفه و شور و عشق‌اش به دانش قرار داد. صحبت‌های ما سر از جاهای مختلفی در آوردند. من از قوه خلاقه‌اش در فکر کردن شگفت‌زده شدم، و تحت تأثیر نحوه نادیده گرفتن منتقدانش و تلاشش برای اثبات درستی اندیشه‌های غیرمعمولش قرار گرفتم.

ساختارهای ریز پروتئینی که همچون «توربین» در میتوکندری عمل می‌کنند، حتی کمی شبیه به توربین‌های نیروگاه‌های برق هستند، اما با این تفاوت که انگار آن‌ها را چندین میلیارد برابر ریزتر کرده باشند! وقتی پروتون‌ها به سمت توربین مولکولی‌ای هجوم می‌برند که کانالی به پهنای تنها ده هزارم یک میلیمتر دارد، آن‌ها روتور کوچکی در مقیاس مولکولی را به چرخش در می‌آورند. این روتور چرخان، موجب ایجاد پیوند شیمیایی بسیار مهمی می‌شود و در نتیجه از ماده زمینه، مولکول جدیدی به نام آدنوزین تری فسفات یا به طور خلاصه ATP ساخته می‌شود. این عمل، با سرعتی معادل ۱۵۰ واکنش در ثانیه انجام می‌گیرد.

ATP منبع انرژی حیات می‌باشد. هر مولکول ATP مانند یک باتری مولکولی عمل می‌کند و انرژی را در خود ذخیره می‌کند. وقتی واکنشی شیمیایی در درون یک سلول به انرژی نیاز دارد، سلول، پیوند پرانرژی ATP را می‌شکند و ATP را به آدنوزین دی فسفات (ADP) مبدل می‌کند، فرایندی که انرژی را آزاد می‌کند و سلول با کمک آن، جرقه یک واکنش شیمیایی یا یک فرایند فیزیکی مانند هر کدام از مراحل انجام شده توسط یک موتور مولکولی را می‌زند.

اغلب غذاهایی که می‌خورید، در نهایت سر از میتوکندری‌های سلول‌های‌تان در می‌آورند، و در آنجا از انرژی شیمیایی‌شان برای ساختن تعداد عجیب و غریبی از ATP استفاده می‌شود. میتوکندری‌ها برای تأمین سوخت واکنش‌های شیمیایی مورد نیاز برای پشتیبانی از چندین میلیارد سلول بدن‌تان، با کمک یکدیگر و به طور شگفت‌انگیزی، روزانه معادل وزن بدن‌تان ATP تولید می‌کنند! نبض مچ دست، گرمای پوست و بالا و پایین رفتن سینه‌تان به هنگام تنفس را حس کنید: سوخت همه آن‌ها توسط ATP تأمین می‌شود. انرژی حیات از ATP تأمین می‌شود.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

همه موجودات زنده به یک منبع دائمی و قابل اطمینان انرژی نیاز دارند، و در نهایت همه‌شان انرژی مورد نیازشان را از طریق همین فرایند کسب می‌کنند: کنترل کردن جریان پروتون‌ها از میان یک سد غشایی، برای ساختن ATP. اگر چیزی مثل یک «جرقه حیات‌بخش» پیدا شود که ضامن حفظ حیات باشد، آن چیز احتمالاً همین جریان ریز بار الکتریکی است که از میان غشا عبور می‌کند. اما هیچ چیز اسرارآمیزی درباره آن وجود ندارد: یک فرایند فیزیکی کاملاً قابل درک می‌باشد. باکتری‌ها این کار را به طور فعالانه‌ای با پمپاژ پروتون‌ها از میان غشای بیرونی‌شان انجام می‌دهند. در حالی که سلول‌های پیچیده‌تر یوکاریوتی، این کار را در درون منطقه‌ای اختصاصی انجام می‌دهند: میتوکندری.

در مجموع، همه این سطوح متفاوت از تشکیلات فضایی درون سلول - از مکان‌های به شدت کوچک دوخته شده به یکدیگر در درون آنزیم‌هایی خاص تا هسته‌های نسبتاً بزرگ‌تری که حاوی کروموزوم‌ها هستند - طرز تفکر جدیدی درباره سلول‌ها در پیش روی ما قرار می‌دهند. وقتی که به تصاویر بسیار پر جزئیات و زیبای گرفته شده توسط میکروسکوپ‌های قدرتمند امروزی می‌نگریم، در واقع داریم به شبکه پیچیده و پیوسته در تغییری از ریزمحیط‌های سازمان یافته و در ارتباط با یکدیگر نگاه می‌کنیم. این طرز نگاه به سلول، به اندازه چندین دنیا با آن طرز نگاهی که سلول‌ها را مانند بلوک‌های ساختمانی لوگوماندی می‌بیند که بافت‌ها و اندام‌های پیچیده‌تر گیاهان و جانوران را می‌سازند، تفاوت دارد. هر کدام از این سلول‌ها، برای خودش یک دنیای زنده کامل و به شدت پیچیده می‌باشد.

از زمانی که لاووازیه بیش از دو قرن پیش شروع کرد به سوال پرسیدن راجع به عملکرد تخمیر، زیست‌شناسان به تدریج متوجه شدند که حتی پیچیده‌ترین رفتارهای سلول‌ها و بدن‌های چند سلولی را هم می‌توان از منظر شیمی و فیزیک درک نمود. زمانی که من و همکارانم در آزمایشگاه تلاش می‌کردیم تا از چگونگی کنترل چرخه سلولی سر در بیاوریم، این طرز تفکر برای ما از اهمیت زیادی برخوردار بود. ما کشف کرده بودیم که ژن *cdc2*، چرخه ژن را کنترل می‌کند. اما بعداً می‌خواستیم بدانیم که این ژن در واقع چه کار می‌کند. پروتئین *Cdc2* دست به چه فرایندهای شیمیایی یا فیزیکی‌ای می‌زنند تا این ژن را به راه بیندازد؟

برای حل این مسئله، ما باید از دنیای نسبتاً انتزاعی ژنتیک به سمت دنیای ماشین‌وار و ملموس‌تر شیمی سلولی حرکت می‌کردیم. یعنی اینکه باید از منظر بیوشیمی بدان نزدیک می‌شدیم. بیوشیمی می‌کوشد تا با تشریح پر جزئیات سازوکارهای شیمیایی، رویکرد جزء گرایانه‌ای را در پیش بگیرد. حال آنکه ژنتیک رویکردی کل گرایانه را اتخاذ می‌کند و به رفتار سیستم زنده به مثابه یک کلیت می‌نگرد. در مورد ما، ژنتیک و

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

زیست‌شناسی سلولی نشان داده بودند که $cdc2$ ، کنترل‌کننده بسیار مهم چرخه سلولی است. اما ما به بیوشیمی نیاز داشتیم تا به ما نشان دهد که پروتئین ساخته شده توسط ژن $cdc2$ از منظر مولکولی چگونه عمل می‌کند. هر دوی این رویکردها، انواع مختلفی از توضیحات را در اختیار ما می‌گذارند؛ هرگاه که این دو با هم همخوانی داشتند، به شما این اطمینان را می‌دهند که دارید در مسیر درستی گام بر می‌دارید.

مشخص شد که پروتئین $cdc2$ ، آنزیمی به نام پروتئین کیناز (kinase) می‌باشد. این آنزیم‌ها، واکنشی به نام فسفریلاسیون را کاتالیز می‌کنند که طی آن، یک مولکول کوچک فسفات با بار منفی قوی به پروتئین‌های دیگر اضافه می‌شود. برای اینکه $cdc2$ به عنوان یک پروتئین کیناز فعالیت کند، ابتدا باید برای فعال شدن، به پروتئین دیگری به نام سیکلین (cyclin) متصل بشود. $cdc2$ و سیکلین همراه با یکدیگر، مجموعه پروتئین فعالی به نام کیناز وابسته به سیکلین، یا به اختصار CDK را تشکیل می‌دهند. تیم هانت^{۲۳}، دوست و همکارم سیکلین را به عنوان پروتئینی کشف و نامگذاری کرد که در طول چرخه سلولی به بالا و پایین «می‌چرخد»؛ همچنین او تغییراتی را کشف کرد که بخشی از سازوکاری بودند که سلول از طریق آن‌ها، از «خاموش» و «روشن» شدن CDK در زمانی مناسب اطمینان حاصل می‌کند. ضمناً سیکلین نام بهتری نسبت به $cdc2$ دارد!

وقتی که مجموعه CDK جاری به دیگر پروتئین‌ها فسفات می‌افزاید، مولکول‌هایی دارای بار منفی که اضافه می‌شوند، شکل و ویژگی‌های شیمیایی آن پروتئین‌های هدف را تغییر می‌دهند. این تغییرات به نوبه خود، منجر به تغییر نحوه عملکرد آن‌ها نیز می‌شود. برای مثال می‌تواند آنزیم‌های دیگر را فعال کند. مثلاً با افزودن سیکلین به پروتئین، CDK را فعال می‌نماید. چون پروتئین‌های کیناز مانند CDK می‌توانند به سرعت و به طور همزمان به بسیاری از پروتئین‌های مختلف فسفات اضافه کنند، اغلب از این آنزیم‌ها به عنوان سوئیچ در درون سلول‌ها استفاده می‌شود. این همان اتفاقی است که در چرخه سلولی رخ می‌دهد. فرایندهایی مانند رونوشت‌برداری از DNA در فاز S در اوایل چرخه سلولی، و جداسازی کروموزوم‌های رونوشت شده طی میتوز و در اواخر چرخه سلولی، به فعالیت هماهنگ آنزیم‌های مختلف زیادی نیاز دارند. CDK می‌تواند با افزودن یکباره فسفات به تعداد زیادی از این پروتئین‌های مختلف، بر روی فرایندهای پیچیده سلولی اعمال کنترل کند. بنابراین درک فسفریلاسیون پروتئین، کلید درک کنترل چرخه سلولی می‌باشد.

نمی‌توانم آنقدری که شایسته است، تأکید کنم که سر در آوردن از این موضوع و فهمیدن چگونگی اعمال نفوذ $cdc2$ بر روی چرخه سلول، چقدر برایم رضایت‌بخش بود. احساس می‌کردم که مانند یکی از همان‌هایی هستم که در لحظه نادر «یافتم

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

یافتم» قرار گرفته‌اند. برنامه تحقیقاتی آزمایشگاهم از شناسایی ژن‌های درون مخمر از قبیل $cdc2$ که چرخه سلول و بنابراین تکثیر سلول را کنترل می‌کردند گذر کرده بود، و تلاش می‌کرد تا از طریق نشان دادن اینکه این کنترل، در همه یوکاریوت‌ها از مخمر گرفته تا انسان شبیه به هم می‌باشند، سرانجام به سر در آوردن از سازوکار مولکولی‌ای برسد که این کنترل از طریق آن محقق می‌گردد. اما این مسیر مدتی بسیار طولانی به طول انجامید. من به همراه حدوداً ده نفری که در آزمایشگاهم کار می‌کردند، مجموعاً چیزی حدود پانزده سال بر روی این کار وقت گذاشتیم. و همان‌طور که در همه کارهای علمی معمول است، این برنامه تحقیقاتی به کمک بسیاری از آزمایشگاه‌های سراسر دنیا متکی بود که آن‌ها هم بر روی چرخه سلولی در سلول‌های مجموعه عجیب و غریبی از موجودات زنده، از قبیل ستاره دریایی، توتیای دریایی، مگس میوه، قورباغه، موش و در نهایت انسان مطالعه می‌کردند.

سرانجام حیات از قوانین نسبتاً ساده و قابل فهم جذب و دفع شیمیایی، و ایجاد و شکستن پیوندهای مولکولی سر بر می‌آورد. این فرایندهای بنیادین یکجورهایی همه با هم و یک مرتبه در مقیاسی ریز مولکولی عمل می‌کنند و دست به دست هم می‌دهند تا باکتری‌هایی را که شنا می‌کنند، گل‌سنگ‌هایی را که روی صخره‌ها رشد می‌کنند، گل‌هایی را که در باغ‌های مان نگهداری می‌کنیم، پروانه‌های در حال پرواز را، و من و شمایی که می‌توانیم این صفحات را نوشته و بخوانیم را به وجود بیاورند.

این نکته که سلول‌ها و بنابراین موجودات زنده به طور شگفت‌آوری پیچیده‌اند اما در نهایت ماشین‌های شیمیایی و فیزیکی قابل درکی هستند، حالا به عنوان نظرگاهی به روی حیات پذیرفته شده است. امروزه زیست‌شناسان در تلاش برای توصیف و فهرست کردن همه اجزای این ماشین زنده به طور شگفت‌انگیزی پیچیده، در واقع بر همین دیدگاه تکیه کرده‌اند. برای این منظور، ما امروزه به فناوری‌های قدرتمندی دسترسی داریم که به ما اجازه مطالعه عمیق بر روی پیچیدگی بسیار زیاد سلول‌های زنده را می‌دهند. ما می‌توانیم یک سلول یا یک گروه از سلول‌ها را انتخاب کرده، توالی همه مولکول‌های DNA و RNA ی آن‌ها را به دست آورده، و هزاران نوع از پروتئین‌های موجود را شناسایی و شمارش کنیم. ما همچنین می‌توانید چربی‌ها، قندها و دیگر مولکول‌های موجود در سلول‌ها را توصیف کنیم. این فناوری‌ها احاطه حواس ما بر روی موضوع مورد مطالعه را به شدت گسترش داده‌اند، و نظرگاهی بسیار قابل درک و جدید درباره اجزای پیوسته در تغییر و نامرئی سلول‌ها در اختیارمان می‌گذارند.

گشوده شدن این پنجره‌های جدید به روی سلول، چالش‌های جدیدی را نیز پیش می‌کشند. سیدنی برنر آن را به خوبی توضیح داده است: «ما در حال غرق شدن در

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

داده‌ها هستیم، اما تشنه دانش می‌باشیم». این نگرانی از آنجا نشأت می‌گیرد که تعداد بسیار زیادی از زیست‌شناسان زمان زیادی را صرف توصیف و ثبت جزئیات شیمی زنده‌ای می‌کنند، بی‌آنکه همیشه درک درست و کاملی از این داشته باشند که اصلاً پشت این‌ها چه مقصود و هدفی وجود دارد. برای اینکه همه این داده‌ها را به دانشی قابل استفاده مبدل کنیم، مهم این است که درک بکنیم که موجودات زنده چگونه اطلاعات را «پردازش می‌کنند».

این پنجمین مفهوم بزرگ زیست‌شناسی می‌باشد، و مفهومی است که می‌خواهم در بخش بعدی به آن پردازم.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

۵. حیات به مثابه اطلاعات

فعالیت به مثابه یک کلیت

چه چیزی آن پروانه زرد رنگ را در همه آن سال ها واداشت که در باغ دوران کودکی ام پرسه بزند؟ آیا گرسنه بود، به دنبال جایی برای تخم گذاری می گشت، یا شاید هم پرنده ای در پی آن بود؟ یا فقط داشت به ندایی درونی برای جستجو و کاوش در دنیایش پاسخ می داد؟ البته من نمی دانم که چرا آن پروانه چنین رفتاری از خود نشان می داد، اما می توانم بگویم که او داشت با دنیایش ارتباط برقرار می کرد و بعد فعالیتی انجام می داد. و او برای این منظور، باید اطلاعات را مدیریت می کرد.

اطلاعات در مرکز هستی پروانه و در واقع در مرکز همه حیات قرار دارد. برای اینکه موجودات زنده همچون سیستم هایی پیچیده و نظام مند به طور موثری فعالیت کنند، هم باید به طور پیوسته درباره دنیایی بیرونی که در آن زندگی می کنند و هم وضعیت درون خودشان به جمع آوری اطلاعات پردازند و از آن ها استفاده کنند. وقتی این دنیاها - اعم از بیرونی یا درونی - تغییر می کنند، موجودات به راه هایی برای شناسایی این تغییرات و پاسخ دادن به آن ها نیاز دارند. اگر آن ها از پس این کار بر نیایند، احتمالاً آینده ای طولانی در انتظارشان نخواهد بود.

اما این موضوع را چگونه می توان برای پروانه تبیین کرد؟ وقتی که پروانه داشت بال می زند، حواس اش تصویر پرجزئیاتی از باغم ترسیم می کردند. چشمانش نور را جمع آوری می کردند، شاخک هایش از مولکول های مواد شیمیایی مختلف موجود در اطراف اش نمونه برداری می کردند، و پرزهایش لرزش های موجود در هوا را رصد می کردند. همه این ها در مجموع، اطلاعات بسیاری را درباره باغی که در آن نشسته بودم، برای او فراهم می آوردند. بعد همه این اطلاعات متنوع دست به دست هم می دهند تا به دانشی کاربردی و مفید تبدیل شوند تا پروانه بر اساس آن دست به عمل بزند. این دانش ممکن است پی بردن به سایه یک پرنده یا کودکی کنجکاو بوده باشد، و یا تشخیص دادن بوی شهد یک گل. سپس این ها به یک نتیجه منجر می شوند: توالی منظمی از حرکات بال ها که پروانه را یا از پرنده ها دور نگاه می دارد، و یا او را بر روی گلی فرود می آورد. پروانه منابع بسیار متفاوتی از اطلاعات را با یکدیگر ترکیب می کند و از آن ها در گرفتن تصمیماتی با نتایجی معنی دار برای آینده اش استفاده می نماید.

موجودات زنده با اتکای زیادی که به این اطلاعات دارند، دست به اعمالی می زنند که به نظر می آید هدفی پشت آن ها وجود دارد. اطلاعاتی که پروانه جمع می کرد، معنی دار بودند. پروانه از آن ها در تصمیم گیری راجع به قدم بعدی به سوی هدفی خاص کمک می گرفت. این بدین معناست که او داشت با هدف فعالیت می کرد.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

زیست‌شناسی شاخه‌ای از علم است که در آن صحبت کردن درباره هدف اغلب معقول و منطقی به نظر می‌رسد. بالعکس، در علم فیزیک ما نمی‌توانیم درباره هدف یک رودخانه، ستاره‌ای دنباله‌دار یا موجی گرانشی سؤال بپرسیم. اما سؤال پرسیدن راجع به هدف ژن *cdc2* در مخمر، و یا هدف از پرواز یک پروانه منطقی است. همه موجودات زنده خودشان را حفظ کرده و سامان می‌بخشند، رشد می‌کنند و تکثیر می‌شوند. این‌ها رفتارهایی هدف‌دار می‌باشند که چون شانس دستیابی موجودات زنده به اهداف بنیادین‌شان، یعنی زنده نگهداشتن خودشان و فرزندان‌شان را بالا می‌برند، طی تکامل شکل گرفته‌اند.

رفتار هدفمند، یکی از ویژگی‌های تعیین‌کننده حیات می‌باشد، اما تنها زمانی امکان‌پذیر است که سیستم‌های زنده به مثابه یک کلیت عمل کنند. یکی از اولین کسانی که این ویژگی ممیزه موجودات زنده را درک کرد، امانوئل کانت فیلسوف بود که در آستانه قرن نوزدهم می‌زیست. کانت در کتابی به نام نقد عقل محض بیان می‌دارد که اجزای یک کالبد زنده، محض خاطر کل آن موجود وجود دارند، و اینکه کل آن موجود به خاطر اجزای آن وجود دارد. او بیان داشت که موجودات زنده، هستی‌هایی سازمان یافته، منسجم و خودتنظیم‌شونده می‌باشند که در کنترل سرنوشت خودشان قرار دارند.

همه این‌ها را در سطح سلول در نظر بگیرید. در هر سلول تعداد زیادی واکنش شیمیایی و فعالیت فیزیکی مختلف رخ می‌دهد. اگر همه این فرایندهای مختلف بدون هیچ نظم و ترتیبی پیش بروند و یا با یکدیگر به رقابت مستقیم بپردازند، همه چیز به سرعت از هم می‌پاشد. تنها با مدیریت اطلاعات است که سلول می‌تواند بر پیچیدگی بسیار زیاد اعمالش نظمی برقرار کند و بنابراین به هدف نهایی‌اش مبنی بر زنده ماندن و تکثیر جامه عمل بپوشاند.

برای درک اینکه این کارها چگونه انجام می‌گیرند، باید به یاد داشته باشید که سلول، یک ماشین شیمیایی و فیزیکی است که به مثابه یک کلیت رفتار می‌کند. با مطالعه اجزای بخصوصی از سلول می‌توان چیزهای زیادی راجع به آن فهمید. اما برای عملکرد بهتر سلول زنده بایستی مجموعه‌ای از واکنش‌های شیمیایی متفاوتی که در درون آن انجام می‌گیرند، با همدیگر در ارتباط بوده و به طور هماهنگ با یکدیگر فعالیت کنند. بدین ترتیب، وقتی محیط اطراف یا وضعیت درونی‌اش تغییر می‌کند - شاید کاهش قند در سلول، یا مواجهه آن با ماده‌ای سمی -، سلول می‌تواند آن تغییر را احساس کرده و خود را با آن تطبیق دهد، و بنابراین کل سیستم تا حد ممکن به طور بهینه‌ای فعالیت بکند. درست همان‌طوری که پروانه اطلاعات راجع به دنیا را جمع‌آوری می‌کند و از این اطلاعات برای اصلاح رفتارهایش کمک می‌گیرد، سلول‌ها

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

نیز پیوسته محیط شیمیایی و فیزیکی هم درون و هم اطرافشان را ارزیابی می کنند، و از آن اطلاعات برای تنظیم وضعیت خودشان بهره می برند.

برای بهتر سر در آوردن از اینکه کاربرد اطلاعات در تنظیم سلول توسط خودش به چه معناست، شاید بهتر و مفیدتر آن باشد که ابتدا آن را در ماشین های ساده تر ساخته دست بشر بررسی کنیم. گاورنر گریز از مرکز را در نظر بیاورید که اولین بار توسط کریستین هوینگنس دانشمند هلندی برای استفاده در سنگ های آسیاب اختراع شد، اما مهندس و دانشمند اسکاتلندی، جیمز وات^{۲۴} در ۱۷۸۸ تغییرات موفقیت آمیز زیادی بر آن اعمال کرد. این وسیله را می شد بر روی یک موتور بخار نصب کرد تا مطمئن شد که موتور با سرعت ثابتی کار می کند، و سرعت آن خیلی بالا نمی رود. این وسیله از دو گوی فلزی تشکیل شده است که حول محوری مرکزی حرکت می کنند و نیروی شان را از خود موتور بخار به دست می آورند. وقتی که سرعت موتور بالا می رود، نیروی گریز از مرکز باعث می شود که گوی ها به سمت بیرون و بالا حرکت کنند. این عمل منجر به باز شدن دریچه ای می شود که بخار را از پیستون موتور خارج می کند، و از سرعت موتور بخار کاسته می شود. با کاهش سرعت موتور، گرانش گوی های فولادین گاورنر را به پایین حرکت می دهد، دریچه بسته می شود و به موتور بخار اجازه می دهد تا دوباره به سرعت دلخواه برسد.

از منظر اطلاعات، گاورنر وات را بهتر می توان درک کرد. موقعیت گوی ها مانند بازخوانی اطلاعاتی راجع به سرعت موتور عمل می کند. اگر این سرعت از اندازه دلخواه فراتر رفت، سوئیچی - دریچه بخار - فعال می شود که از سرعت موتور می کاهد. این عمل، یک پردازشگر اطلاعات را به وجود می آورد که ماشین با استفاده از آن و بی آنکه به تلاشی [داده ای] از جانب اپراتور انسانی نیاز داشته باشد، خودش را تنظیم می کند. وات ابزار مکانیکی ساده ای را ساخته بود که به طور هدفمندی رفتار می کرد. هدف آن، کار کردن موتور بخار با سرعتی ثابت بود، و به طور درخشانی به این هدف دست یافت.

در سلول های زنده از سیستم هایی که به لحاظ نظری به روش مشابهی کار می کنند، اما سازوکارهای بسیار پیچیده و تنظیم پذیرتری دارند، به طور گسترده ای استفاده می شود. چنین سازوکارهایی، روشی کارآمد را برای دستیابی به هومئوستازی^{۲۵} (هم ایستایی) فراهم می آورند؛ فرایندی فعال برای حفظ کردن شرایطی که موجب بقا می شود. از طریق همین هومئوستازی است که بدن تن مثلاً موجب ثابت نگهداشتن دما، حجم مایعات و قند خون می شود.

پردازش اطلاعات به همه جنبه های حیات رسوخ می کند. برای اینکه این موضوع را روشن تر کنیم، بیایید به دو مثال از اجزا و فرایندهای پیچیده سلولی نگاهی بیندازیم

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

که می‌توان آن‌ها را از دریچه اطلاعات بهتر درک نمود. اولین مثال، DNA می‌باشد و اینکه ساختار مولکولی آن چگونه وراثت را توضیح می‌دهد. واقعیت مهم راجع به DNA، این است که هر ژنی، یک توالی خطی از اطلاعاتی می‌باشد که به زبان چهار حرفی DNA نوشته شده است. توالی‌های خطی، استراتژی آشنا و بسیار کارآمدی برای ذخیره کردن و انتقال دادن اطلاعات می‌باشند؛ در حروف و عباراتی که در حال خواندن‌شان هستید، و همچنین توسط برنامه‌نویسانی که برای کامپیوترها و گوشی‌های همراه‌تان کدنویسی می‌کنند، از یک چنین توالی‌های خطی‌ای استفاده شده است.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

همه این کدهای متفاوت، اطلاعات را به صورت رقمی (دیجیتالی) ذخیره می کنند. در اینجا دیجیتال یعنی اینکه اطلاعات به صورت ترکیب های متفاوتی از تعداد کمی از ارقام ذخیره می شوند. زبان انگلیسی از ۲۶ رقم یا حرف الفبا استفاده می کند؛ کامپیوترها و تلفن های هوشمند از الگوهای صفر و یک استفاده می کنند؛ و رقم های DNA، چهار باز نوکلئوتیدی می باشند. یکی از مزایای بزرگ کدهای رقمی، این است که آن ها را به راحتی می توان از یک سیستم کدنویسی به سیستم دیگری ترجمه کرد. این همان کاری است که توسط سلول هنگام ترجمه رمز DNA به RNA و سپس به پروتئین ها انجام می شود. برای این منظور، آن ها به روشی بی نقص و منعطف که هیچ سیستم ساخته دست بشر توان رقابت با آن را ندارد، اطلاعات ژنتیکی را به فعالیتی فیزیکی تبدیل می کنند. در حالی که سیستم های کامپیوتری بایستی برای ذخیره اطلاعات، آن ها را بر روی واسطه فیزیکی متفاوتی «بنویسند»، مولکول DNA خودش اطلاعات «است» که آن را به روشی جمع و جور برای ذخیره داده ها مبدل ساخته است. متخصصان فناوری این موضوع را تشخیص داده اند، و روش های رمزگذاری اطلاعات در مولکول های DNA را طوری متحول کرده اند تا به پایدارترین و کارآمدترین روش ممکن برای آرشیو کردن اطلاعات دست پیدا کنند.

دیگر وظیفه مهم DNA یعنی توانایی آن برای برداشتن رونوشتی دقیق از خودش، مستقیماً به ساختار مولکول آن باز می گردد. اگر از منظر اطلاعات بنگریم، جاذبه های مولکولی بین جفت بازها (A به T، و G به C)، روش دقیق و قابل اطمینانی برای تهیه رونوشت از روی اطلاعاتی فراهم آورده اند که توسط مولکول DNA نگهداری می شوند. در نهایت همین قابلیت ذاتی همانندسازی دقیق است که توضیح می دهد چرا اطلاعات حفظ شده در درون DNA، این قدر باثبات و سالم باقی می مانند. بعضی از توالی های ژنی در خلال مجموعه بی وقفه ای از تقسیمات سلولی که طی مدت های زمانی بسیار طولانی رخ داده اند نیز دوام آورده اند. بخش های بزرگی از رمزهای ژنتیکی که باید اجزای سلولی مختلفی مانند ریبوزوم ها را بسازند، در همه موجودات، چه باکتری ها و آرکتیا، و چه قارچ ها و گیاهان یا جانوران، مشخصاً شبیه به هم می باشند. این بدین معنی است که اطلاعات اصلی درون آن ژن ها احتمالاً برای سه میلیارد سال حفظ شده اند.

این موضوع نشان می دهد که چرا ساختار مارییچ دوگانه تا بدین حد حائز اهمیت است. کریک و واتسون با آشکار کردن این ساختار، بین درک مفهومی و «کل به جزء» از چگونگی انتقال اطلاعات ضروری حیات طی نسل ها و درک ماشین وار و «جزء به کل» چگونگی ساخته شدن سلول ها و نحوه عملکردشان در سطح مولکولی، پلی برقرار کردند. این موضوع تأکید می کند که شیمی حیات تنها زمانی منطقی و معنی دار

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

به نظر می‌رسد که آن را از منظر اطلاعات بررسی کنیم.

دومین مثال مبنی بر اهمیت اطلاعات در درک حیات، تنظیم ژن‌ها (gene regulation) می‌باشد، مجموعه‌ای از واکنش‌های شیمیایی که سلول‌ها از آن‌ها برای «روشن» و «خاموش» کردن ژن‌ها استفاده می‌کنند. این موضوع، راهی پیش پای سلول‌ها قرار می‌دهد که بر اساس آن، فقط از قسمت‌های خاصی از مجموعه کامل اطلاعات ژنی که در آن موقعیت زمانی خاص واقعاً بدان‌ها نیاز دارند، استفاده کنند. اهمیت اساسی داشتن این توانایی را می‌توان در رشد و نموی رویانی بی‌شکل به یک انسان کامل بهتر درک کرد. سلول‌های کلیه‌ها، پوست و مغز شما، همگی دارای همان مجموعه مشابه ۲۲,۰۰۰ ژنی می‌باشند. اما تنظیم ژنی بدین معناست که ژن‌های مورد نیاز برای ساختن کلیه، در سلول‌های جنینی کلیه «روشن» می‌شوند، و ژن‌هایی هم که برای ساخت پوست یا مغز اختصاص یافته‌اند، در این سلول‌ها «خاموش» می‌شود، و بالعکس. در نهایت، سلول‌های درون هر کدام از اندام‌های شما، با هم فرق می‌کنند. زیرا آن‌ها از ترکیب‌های بسیار متفاوتی از ژن‌ها استفاده می‌کنند. در واقع تصور بر این است که فقط چیزی حدود ۴,۰۰۰ یا یک پنجم از مجموعه کل ژن‌های تان روشن هستند، و توسط انواع مختلفی از سلول‌های بدن شما برای پشتیبانی از اعمال بنیادین مورد نیاز برای بقای سلول‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بقیه‌شان فقط گاه و بیگاه استفاده می‌شوند، یا چون وظایف خاصی را انجام می‌دهند که فقط بعضی از سلول‌ها بدان‌ها نیاز دارند و یا چون فقط در زمان‌های خاصی به آن‌ها احتیاج پیدا می‌شود.

تنظیم ژنی همچنین بدین معنی است که برای ساختن مخلوقات بسیار متفاوت در سطوح مختلفی از زندگی‌شان، دقیقاً به مجموعه ژن‌های مشابهی نیاز پیدا می‌شود. هر پروانه گوگردی پیچیده و ظریفی مسیر زندگی‌اش را به شکل یک کرم سبزی کمتر برانگیزاننده شروع می‌کند؛ تغییر شگفت‌آوری از یک شکل به شکلی دیگر، تنها با بیرون کشیدن قسمت‌های متفاوتی از همان مجموعه اطلاعات ذخیره شده در همان ژنوم مشابه و استفاده کردن از آن در مسیرهایی مختلف میسر می‌شود. اما تنظیم ژنی فقط به هنگام رشد و نموی موجودات زنده اهمیت ندارد، بلکه یکی از راه‌های عمده‌ای است که از طریق آن، همه سلول‌ها برای بقای خود به تنظیم عملکردهای‌شان و ساختارهای‌شان می‌پردازند، و همچنین به هنگام تغییر محیط اطراف‌شان، خودشان را هم تغییر می‌دهند. برای مثال اگر باکتری‌ای با منبع جدیدی از قند روبرو شود، به سرعت ژن‌های مورد نیاز برای هضم کردن آن قند را روشن می‌کند. به عبارت دیگر، باکتری دارای سیستم خودتنظیم‌کننده‌ای می‌باشد که به طور خودکار اطلاعات دقیق ژنتیکی‌ای را انتخاب می‌کند که برای بالا بردن شانس بقا

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

و تکثیرش بدان‌ها نیاز دارد.

بیوشیمیدان‌ها بسیاری از سازوکارهای بنیادینی را شناسایی کرده‌اند که برای دستیابی به چنین شاهکارهای مختلفِ تنظیم ژن، مورد استفاده قرار می‌گیرند. پروتئین‌هایی وجود دارند که به عنوان «بازدارنده» (repressor) عمل می‌نمایند که ژن‌ها را خاموش می‌کنند، یا به عنوان «فعال‌کننده» (activator) عمل می‌نمایند که ژن‌ها را روشن می‌کنند. آن‌ها با گشتن به دنبال و متصل شدن به توالی‌های خاصی از DNA که در مجاورت ژن در حال تنظیم قرار دارند، این کار را انجام می‌دهند؛ و کمابیش احتمال دارد که این موضوع منجر به تولید RNA پیک شود، و آن RNA برای ایجاد پروتئین به ریبوزوم ارسال می‌شود.

دانستنِ چگونگی انجام همه این اعمال در سطحی شیمیایی حائز اهمیت می‌باشد. اما ما ضمن سؤال پرسیدن درباره «نحوه تنظیم شدن ژن‌ها، می‌خواهیم بدانیم که کدام ژن‌ها تنظیم می‌شوند، آیا آن‌ها خاموش می‌شوند یا روشن، و «چرا». یافتن پاسخ این سوالات، می‌تواند منجر به سطوح جدیدی از درک ما شود. آن‌ها می‌توانند نقطه‌شروعی برای توضیح دادن این مسئله باشند که چگونه از اطلاعات نگهداری شده در ژنوم یک تخمک نسبتاً منفرد انسان استفاده می‌شود و بر طبق آن، دستورالعمل‌هایی برای ایجاد همه صدها نوع مختلف از سلولی که در کل بدن یک نوزاد قرار دارند، صادر می‌شود؛ چگونه یک داروی جدید قلب می‌تواند با روشن یا خاموش کردن ژن‌ها موجب تصحیح رفتار سلول‌های ماهیچه‌های قلب شود؛ چگونه می‌توانیم ژن‌های باکتری‌ها را طوری تغییر بدهیم تا نوع جدیدی از آنتی‌بیوتیک‌ها را به وجود بیاوریم؛ و بسیاری چیزهای دیگر. وقتی که از این منظر به تنظیم ژن‌ها می‌نگریم، بدیهی است که مفاهیم و ایده‌هایی که مبتنی بر پردازش اطلاعات می‌باشند، برای درک نحوه عملکرد و اعمال حیات ضروری هستند.

این طرز فکر تأثیرگذار برآمده از مطالعات انجام شده توسط ژاک مونو و همکارش فرانسوا ژاکوب می‌باشد؛ مطالعاتی که جایزه نوبل را در ۱۹۶۵ برای آن‌ها به بار آورد. آن‌ها می‌دانستند که باکتری‌های *E. coli*. کولای مورد مطالعه‌شان می‌توانند از یکی دو قند تغذیه کنند. برای شکسته شدن هر قندی به آنزیم‌هایی نیاز است که توسط ژن‌های مختلفی ساخته می‌شوند. مسئله این بود که باکتری‌ها چگونه تصمیم می‌گیرند که بایستی بین دو قند سوئیچ کنند؟

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این دو دانشمند مجموعه درخشانی از آزمایش‌های ژنتیکی را ابداع کردند تا منطق پشت این مثال بخصوص از تنظیم ژنی را آشکار سازند. آن‌ها نشان دادند که وقتی باکتری‌ها از یک نوع قند دارند تغذیه می‌کنند، پروتئین بازدارنده ژن، ژن کلیدی برای تغذیه از قند دیگر را خاموش می‌کند. اما وقتی که نوع دوم قند در دسترس قرار می‌گیرد، باکتری‌ها به سرعت سوئیچ ژن سرکوب شده را روشن می‌کنند تا آن قند را هضم کنند. نکته کلیدی این است که خود قند دوم، به مثابه سوئیچ عمل می‌کند: این قند به پروتئین بازدارنده متصل می‌شود و آن را از کار درست باز می‌دارد، و بنابراین به ژن سرکوب شده این امکان را می‌دهد که دوباره روشن شود. این روشی اقتصادی و دقیق برای دست یافتن به رفتاری هدفمند می‌باشد. تکامل روشی را ابداع کرده است که از طریق آن، باکتری متوجه حضور منبع انرژی دیگری می‌شود، و از آن اطلاعات برای تعدیل و سازگار کردن شیمی درونی‌اش، به نحو شایسته‌ای بهره می‌برد.

وقتی این مطالعات تأثیرگذارتر می‌شوند که بدانیم ژاکوب و مونو در زمانه‌ای همه این کارها را انجام دادند که هیچ کسی نمی‌توانست مستقیماً ژن‌ها و پروتئین‌های خاص درگیر در این فرایند را استخراج کند. آن‌ها با نگرستن به باکتری‌های شان از منظر اطلاعات، این مسئله را حل کردند، یعنی اینکه آن‌ها نیازی نداشتند که چیزی راجع به جزئیات ریز و درشت مواد شیمیایی و اجزای دخیل در فرایند سلولی مورد مطالعه‌شان بدانند. در عوض، آن‌ها با ایجاد جهش در ژن‌های درگیر و رفتار کردن با ژن‌ها به مثابه اجزای اطلاعاتی انتزاعی، رویکردی مبتنی بر ژنتیک را به کار گرفتند که بیان ژن^{۲۴} را کنترل می‌کرد.

ژاکوب کتاب منطق حیات، و مونو کتاب تصادف و ضرورت را نوشتند. هر دوی آن‌ها بر روی مسائلی دست گذاشته بودند که من هم در این کتاب در موردشان بحث می‌کنم، و هر دو نفرشان بر روی من تأثیر زیادی گذاشتند. من مونو را هرگز از نزدیک ندیدم، اما ژاکوب را چند باری ملاقات کردم. آخرین باری که او را دیدم، در پاریس مرا به صرف نهار دعوت کرد. می‌خواست با من از زندگانی‌اش بگوید و درباره اندیشه‌هایی با هم بحث کنیم: اینکه حیات را چگونه تعریف می‌کرد، دلالت‌های فلسفی تکامل و سهم متفاوت دانشمندان فرانسوی و انگلوساکسون در قبال تاریخ زیست‌شناسی. او که زخم‌های کهنه جنگ همیشه آرام و قرارش را گرفته بودند، نمونه‌ای از یک روشنفکر فرانسوی بود که مطالعاتی باورنکردنی درباره مسائل فلسفی، ادبی و سیاسی داشت - ملاقاتی بزرگ و به یادماندنی برای من.

ژاکوب و مونو در زمانه‌ای مشغول به کار بودند که دانشمندان داشتند به درک جدیدی از نحوه جریان اطلاعات از توالی ژن به پروتئین و سپس از عملکرد سلول و

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

نحوه هدایت این جریان دست پیدا می کردند. این رویکرد اطلاعات محور، راهنمای افکار من نیز بود. وقتی کار تحقیقاتی ام را شروع کردم، می خواستم بدانم که سلول ها چگونه برای کنترل چرخه سلولی، وضعیت خودشان را تفسیر می کنند و شیمی درونی شان را سامان می دهند. نمی خواستم فقط به توصیف ماقوع چرخه سلولی بپردازم، بلکه در نظر داشتم بفهمم که چرخه سلولی چگونه «کنترل می شود». یعنی اینکه من اغلب به سراغ تفکر درباره چرخه سلولی از منظر اطلاعات می رفتم و همانند ژاکوب و مونو، به سلول نه تنها به مثابه ماشینی شیمیایی، بلکه به مثابه ماشینی منطقی و مفهومی نیز می نگریستم - ماشینی که هستی و آینده اش را مرهون توانایی اش در پردازش و پیش بردن اطلاعات است.

در دهه های اخیر، زیست شناسان ابزارهای قدرتمندی را پدید آورده اند و تلاش های زیادی برای شناسایی و فهرست کردن اجزای متنوع سلول های زنده کرده اند. برای مثال، آزمایشگاه من کارهای زیادی بر روی تعیین توالی ژنوم کامل مخمر شکافدار انجام داده است. ما برای این منظور با بارت بارل همکاری کردیم؛ او با فرد سانگر کار کرده بود که اولین روش قابل اطمینان و عملی برای تعیین توالی DNA را در دهه ۱۹۷۰ ابداع کرده بود. اگرچه فرد در آن زمان رسماً بازنشسته شده بود، من در این پروژه چندین مرتبه با او هم دیدار کردم. او مردی نسبتاً آرام و نجیب بود، علاقه زیادی به پرورش گل های رز داشت، و مانند بسیار از موفق ترین دانشمندانی که در این سال ها با آن ها دیدار داشته ام، وقت زیادی را به صحبت کردن و تشویق کردن دانشمندان جوان اختصاص می داد. وقتی که او به آزمایشگاه بارت آمد، به باغبانی می مانست که راهش را گم کرده بود؛ البته باغبانی که دو بار جایزه نوبل را دریافت کرده بود!

من و بارت ترتیبی دادیم تا زمینه همکاری مشترک بین چندین آزمایشگاه در سرتاسر اروپا برای خواندن همه تقریباً ۱۴ میلیون حرف DNA ی موجود در ژنوم مخمر شکافدار فراهم شود. چیزی حدود ۱۰۰ نفر نزدیک سه سال برای تکمیل این پروژه وقت گذاشتند، و اگر به درستی در خاطر من مانده باشد، این سومین یوکاریوتی بود که توالی ژن هایش به طور کامل و با دقت تعیین می شد. تکمیل این پروژه به سال ۲۰۰۰ بر می گردد. امروزه توالی همین ژنوم را دو سه نفر می توانند در عرض یک روز تعیین کنند! در دو دهه اخیر، یک چنین پیشرفت هایی در زمینه تعیین توالی DNA صورت گرفته است.

جمع آوری داده هایی مانند این ها حائز اهمیت می باشد، اما تنها اولین قدم به سوی هدف چالش برانگیزتر و مهم تر، چگونگی درک نحوه کار کردن همه این ها با همدیگر است. با توجه به چنین هدفی، من فکر می کنم که اگر سلول را به مثابه موجودی

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

ساخته شده از مجموعه‌ای از واحدهایی خاص بنگریم که برای دستیابی به پیچیده‌ترین ویژگی‌های حیات با یکدیگر همکاری می‌کنند، به پیشرفت بزرگی دست پیدا خواهیم کرد. در اینجا از واژه واحد (Module) برای توصیف مجموعه‌ای از اجزا و عناصری استفاده کرده‌ام که برای انجام یک وظیفه بخصوص پردازش اطلاعات، به صورت یک کلیت فعالیت می‌کنند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

بنابر این تعریف، گاورنر وات هم می‌توان یک «واحد» باشد، واحدی با هدفی کاملاً مشخص برای کنترل کردن سرعت یک موتور. سیستم تنظیم ژنی که ژاکوب و مونو آنرا به واسطه کنترل مصرف قند در باکتری‌ها کشف کردند، مثال دیگری از واحد می‌باشد. از منظر اطلاعات، هر دوی آن‌ها به روش مشابهی عمل می‌کنند: آن‌ها مثال‌هایی از واحدهای پردازش اطلاعات می‌باشند که حلقه‌های بازخورد منفی (negative feedback loop) نامیده می‌شوند. این نوع از واحدها برای حفظ وضعیتی پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرند، و به وفور در علوم زیستی به کار گرفته می‌شوند. آن‌ها برای مثال موجب می‌شوند که حتی بعد از خوردن شیرینی‌ای مانند دوناتی پوشیده از شکر، سطح قند خون‌تان نسبتاً ثابت باقی بماند. سلول‌های درون لوزالمعده‌تان می‌توانند قند مازاد در خون را شناسایی کنند و با ترشح هورمون انسولین در جریان خون، نسبت به آن‌ها واکنش نشان بدهند. انسولین نیز به نوبه خود، سلول‌های درون کبد، ماهیچه‌ها و بافت‌های پر چرب را به گونه‌ای تحریک کند که این قند مازاد را از خون‌تان جذب کرده، و آن را یا به گلیکوژن نامحلول یا چربی‌ای تبدیل کنند که بعداً برای مصارف آینده ذخیره شوند.

نوع متفاوتی از واحد وجود دارد که آن را حلقه بازخورد مثبت (positive feedback loop) می‌نامند. این واحد می‌تواند سوئیچ‌های بازگشت‌ناپذیری را به وجود بیاورد که وقتی روشن شدند، هرگز خاموش نمی‌شوند. یک حلقه بازخورد مثبت به صورتی عمل می‌کند که موجب رسیدن سیب‌ها می‌شود. سلول‌های سیبی که دارند می‌رسند، گازی به نام اتیلن تولید می‌کنند که هم موجب تسریع فرایند رسیدگی می‌شود و هم تولید اتیلن را افزایش می‌دهد. در نتیجه، سیب‌ها نمی‌توانند فرایند رسیدن‌شان را متوقف کنند، و سیب‌های مجاور نیز می‌توانند موجب تسریع بیشتر رسیدن‌شان هم بشوند.

وقتی واحدهای مختلف به یکدیگر ملحق می‌شوند، می‌توانند پیامدهای پیچیده‌تری را رقم بزنند. مثلاً سازوکارهایی وجود دارند که سوئیچ‌هایی را ایجاد می‌کنند که می‌توانند به سرعت و به طور برگشت‌پذیری روشن و خاموش شوند، یا نوسان‌سازهایی را به وجود می‌آورند که به صورت دوره‌ای و بی‌وقفه خاموش و روشن می‌شوند. زیست‌شناسان نوسان‌سازهایی را شناسایی کرده‌اند که در سطح فعالیت‌های ژنی و در سطوح پروتئینی عمل می‌کنند - از آن‌ها برای اهداف متنوعی استفاده می‌شود، مثلاً برای ایجاد تفاوت بین شب و روز. در برگ‌های گیاهان، سلول‌هایی وجود دارند که برای اندازه‌گیری گذر زمان، شبکه‌ای نوسان‌ساز از ژن‌ها و پروتئین‌ها را مورد استفاده قرار می‌دهند، و در نتیجه به گیاه این اجازه را می‌دهند که با روشن کردن ژن‌های مورد نیاز برای فتوسنتز، درست پیش از روشن شدن هوا، خود را

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

از قبل برای شروع روز جدید آماده کنند. نوسان سازهای دیگری هم وجود دارند که در نتیجه ارتباطات بین سلول‌ها، مدام بین روشن و خاموش در رفت و آمد هستند. یک مثال آن، قلبی است که همین الان دارد در سینه‌تان می‌تپد. مثال دیگر، مدارِ نوسان‌سازی از سلول‌های عصبی است که در طناب نخاعی‌تان به طور منظم و ساعت‌وار فعالیت می‌کنند و الگوی خاص و تکرارشونده‌ای از انقباض و شل‌شدگی را در درون ماهیچه‌های پا به وجود می‌آورند و به شما این اجازه را می‌دهند که به طور پیوسته راه بروید. بدون اینکه نیاز باشد که به آن‌ها آگاهانه بیندیشید، همه این کارها دارند انجام می‌شوند.

واحدهای مختلف در موجودات زنده به هم می‌پیوندند تا رفتارهای پیچیده‌تری را به وجود بیاورند. می‌توان در این مورد، یک گوشی هوشمند را مثال زد که چندین کار مختلف را به صورت همزمان انجام می‌دهد. هر کدام از این کارها - توانایی تلفن برای برقراری تماس، دسترسی به اینترنت، عکس گرفتن، پخش موسیقی، فرستادن ایمیل و غیره - را می‌توان همچون واحدهایی دانست که در درون سلول‌ها فعالیت می‌کنند. مهندسی که یک تلفن هوشمند را طراحی می‌کند، باید اطمینان حاصل کند که همه این واحدهای گوناگون طوری با یکدیگر همکاری کنند که تلفن بتواند هر آن چیزی را که بدان نیاز هست، انجام بدهد. برای نائل شدن به این منظور، آن‌ها نقشه‌هایی منطقی را به وجود می‌آورند که نشان می‌دهند جریان اطلاعات چگونه باید در بین واحدهای مختلف برقرار شود. مزیت فراوان شروع کردن به طراحی تلفنی جدید در سطح واحد (ماژول)‌ها، در این است که مهندسین می‌توانند اطمینان حاصل کنند که برنامه‌های‌شان از نظر عملکرد منطقی باشند، بدون اینکه خودشان را در میان جزئیات بخش‌های خاص غرق کنند.

بدین ترتیب دیگر نیازی نیست که از همان اول، فکرشان را آنقدرها درگیر تعداد بسیار زیادی از ترانزیستورها، خازن‌ها، مقاومت و تعداد بی‌شماری از اجزای الکترونیکی دیگری کنند که هر کدام از واحدها را تشکیل داده‌اند. در پیش گرفتن چنین رویکردی، راهی جدید و قدرتمند برای فهم سلول‌ها در اختیارمان می‌گذارد. اگر بتوانیم واحدهای مختلف سلول را بشناسیم و اگر بفهمیم که سلول برای مدیریت اطلاعات چگونه آن‌ها را به یکدیگر وصل می‌کند، ضرورتی ندارد که همه جزئیات ریزمولکولی درباره نحوه کارکرد اجزای درون واحدها بدانیم. باید به جای اینکه به سادگی سراغ فهرست کردن پیچیدگی‌ها برویم، جاه‌طلبی‌مان صرف به دست آوردن «معنا» کنیم. برای مثال من می‌توانستم فهرستی از همه کلمات مختلفی را که در این کتاب چاپ شده‌اند و همچنین تعداد تکرارشان را بیاورم. این فهرست مثل این می‌مانست که لیستی از اجزای مختلف یک دستگاه را بدون هیچ دستورالعمل و

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

دفترچه راهنمایی به شما تحویل بدهیم. این فهرست اگرچه شمائی از پیچیدگی متن در اختیارمان می‌گذارد، اما تقریباً هیچ معنایی در آن وجود ندارد. برای چسبیدن به این معنا، باید کلمات را در ترتیب صحیح‌شان خواند و درک‌مان را از چگونگی انتقال اطلاعات در سطوح بالاتر، در قالب عبارات، پاراگراف‌ها و فصل‌ها گسترش بدهیم. همه این‌ها دست به دست هم می‌دهند تا داستان‌هایی را تعریف کرده، روایت کنند، مفاهیم را به هم پیوند بزنند و توضیحاتی ارائه بدهند. وقتی که یک زیست‌شناس هم همه ژن‌ها، پروتئین‌ها یا لیپیدهای درون سلول را فهرست می‌کند، دقیقاً همین موضوع برای او هم صادق می‌باشد. برای نقطه شروع، این کار حائز اهمیت می‌باشد، اما آنچه که ما واقعاً می‌خواهیم، این است که بفهمیم که این بخش‌ها چگونه در کنار یکدیگر فعالیت می‌کنند تا واحدهایی را ایجاد کنند که سلول را زنده نگاه داشته و بدان توانایی تکثیر شدن می‌دهند.

قیاس‌هایی که از علوم الکترونیک و کامپیوتر گرفته شده‌اند، مانند مثال تلفن هوشمندی که همین الان آوردم، به درک ما از سلول‌ها و موجودات زنده کمک می‌کنند. اما ما باید آن‌ها را کمی محتاطانه‌تر استفاده کنیم. واحدهای پردازش اطلاعات موجود در موجودات زنده و موجود در مدارهای الکترونیکی انسان‌ساز، از جنبه‌هایی با هم تفاوت زیادی دارند. سخت افزار کامپیوتری عموماً ایستا بوده و غیرقابل انعطاف می‌باشند، و به خاطر همین هم آن‌ها را سخت‌افزار می‌نامند. برعکس، «سیم‌پیچی» سلول‌ها و موجودات زنده سیال و پویا می‌باشد. زیرا آن‌ها بر مبنای مواد شیمیایی زیستی‌ای شکل گرفته‌اند که می‌توانند در میان آب درون سلول‌ها پراکنده شده و باید منطقه‌های مختلف سلولی و نیز در بین سلول‌ها حرکت کنند. اجزا می‌توانند به طور قابل ملاحظه‌ای در داخل یک سلول دوباره به همدیگر متصل شده، جای‌شان را تغییر داده و اهداف‌شان را عوض کنند، و بدین ترتیب کل سیستم را «مجدداً سیم‌پیچی کنند». بنابراین مثال‌های مفید سخت افزار و نرم افزار کم‌کم دیگر نمی‌دهند، و به همین خاطر است که دنیس بری زیست‌شناس سیستم‌ها، کلمه عمیق «ترآفزار» (wetware) را برای توصیف مواد و مصالح پردازشی و منعطف‌تر حیات ابداع کرده است. سلول‌ها با میانجی‌گری شیمی‌تر، بین اجزای مختلف‌شان ارتباطاتی را به وجود می‌آورند.

این موضوع در مورد مغز، این کامپیوتر زیستی بسیار پیچیده و کهن‌الگویی نیز صادق است. سلول‌های عصبی در خلال زندگی‌تان رشد می‌کنند، جمع می‌شوند، با دیگر سلول‌های عصبی هم ارتباط برقرار می‌کنند و هم ارتباطات‌های‌شان را قطع می‌کنند. برای اینکه سیستمی پیچیده به مثابه یک کلیت هدفمند رفتار کند، لازم است که ارتباطی موثر و کارآمد هم بین اجزای مختلف سیستم و هم با محیط بیرون از سیستم

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

برقرار شود. در زیست‌شناسی، ما به مجموعه‌ای از واحدهایی که وظیفه این ارتباطات را برعهده دارند، «مسیرهای پیامرسانی» (signalling pathway) می‌گوییم. هورمون‌هایی که به داخل خون‌تان ترشح می‌شوند، مانند انسولینی که قند خون را تنظیم می‌کند، مثالی از یکی از همین مسیرهای پیامرسانی می‌باشند، اما مسیرهای زیاد دیگری هم وجود دارند. مسیرهای پیامرسانی اطلاعات را در درون سلول‌ها، بین سلول‌ها، بین اندام‌ها، بین کل موجودات زنده، بین جمعیت‌هایی از موجودات زنده و حتی بین گونه‌های مختلف موجود در همه اکوسیستم‌ها انتقال می‌دهند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

روش انتقال اطلاعات در طول مسیرهای پیامرسانی را می‌توان برای حصول به نتایجی بسیار متفاوت تنظیم کرد. آن‌ها می‌توانند پیام‌هایی را منتقل کنند که فقط یک خروجی را خاموش یا روشن می‌کنند، مانند یک کلید چراغ برق. اما پیام‌ها می‌توانند به روش‌های نامحسوس‌تری هم عمل کنند. برای مثال در بعضی از موقعیت‌ها، پیام ضعیفی می‌تواند یک خروجی را و پیام قوی‌تری خروجی دیگری را روشن کند. به روشی مشابه، یک نجوا می‌تواند توجه همسایه دیوار به دیواری را به خود جلب کند، در حالی که در مواقع اضطراری برای تخلیه کل یک اتاق، باید فریاد کشید. سلول‌ها هم می‌توانند برای انتقال جریان بسیار قوی‌تری از اطلاعات، از رفتار پویای مسیرهای پیامرسانی بهره کامل را ببرند. حتی اگر خود پیام فقط بتواند «روشن» یا «خاموش» باشد، می‌تواند با تغییر زمان سپری شده بین این دو وضعیت، اطلاعات بیشتری را انتقال دهد. رمز مورس بهترین مثال برای آن می‌باشد. از طریق ایجاد تفاوت‌هایی ساده در ترتیب و مدت بین ضربه‌های پیام، «نقطه‌ها» و «خط تیره‌ها» ی رمز مورس می‌توانند جریانی از اطلاعاتی را منتقل کنند که سرشار از معنا هستند، خواه یک پیام SOS^{۲۷} باشد، خواه متن کتاب درباره منشأ انواع داروین. مسیرهای پیامرسانی زیستی‌ای که به این طریق رفتار می‌کنند، می‌توانند مشخصه‌های غنی از اطلاعاتی را به وجود بیاورند که حامل معنایی فراتر از توالی‌های پیامرسانی‌ای باشند که فقط یک پیام «بله/خیر» یا «روشن/خاموش» را منتقل می‌کنند.

نه تنها پیامرسانی در بعد فضا، بلکه سلول‌ها به راه‌هایی برای پیامرسانی در بعد زمان هم نیاز دارند. سیستم‌های زیست‌شناختی برای دستیابی به این هدف، باید بتوانند اطلاعات را ذخیره کنند. این یعنی اینکه سلول‌ها می‌توانند رد شیمیایی تجربیات گذشته‌شان را با خود جابجا کنند، و ما می‌توانیم آن‌ها را همچون حافظه‌هایی به حساب بیاوریم که در مغزمان تشکیل می‌شوند. این حافظه‌های سلولی تنوع زیادی دارند، از برداشت‌هایی گذرا از آنچه که تنها لحظه‌ای پیش اتفاق افتاده است تا حافظه‌های پایدار و به شدت بلندمدتی که در DNA نگهداری می‌شوند. سلول‌ها طی چرخه سلولی، وقتی که وضعیت رویدادهای رخ داده شده در اوایل چرخه «به یاد آورده می‌شوند» و برای رویدادهای متأخرتر چرخه مخابره می‌شوند، از اطلاعات تاریخی کوتاه مدت استفاده می‌کنند. برای مثال، اگر فرایند رونوشت‌برداری از DNA هنوز تکمیل نشده یا دچار خطا شده باشد، لازم است که این موضوع ثبت گردد و به سازوکارهایی که سبب تقسیم سلولی می‌شوند، مخابره شود. اگر این فرایند انجام نشود، سلول پیش از رونوشت‌برداری درستی از روی تمامی ژنوم‌اش، اقدام به تقسیم می‌کند، و این می‌تواند منجر به خلل در اطلاعات ژنتیکی و مرگ سلول شود.

فرایندهای دخیل در تنظیم ژن، به سلول‌ها این امکان را می‌دهند که اطلاعات را در

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

مقیاس‌های زمانی طولانی‌تری ذخیره کنند. این موضوع در اواسط قرن بیستم نظریه‌ی علاقه‌ی زیست‌شناس بریتانیایی، کنراد وودینگتون را به خود جلب کرد. من وقتی که تحقیقات پسادکتری‌ام را در ۱۹۷۴ در دانشگاه ادینبرو شروع کردم، با وودینگتون ملاقاتی داشتم. او شخصیتی گیرا و علاقه‌مند به هنر، شعر و سیاست چپی بود. اما او بیش از همه به خاطر ابداع کلمه‌ی «اپی‌ژنتیک» شهرت دارد. او از این کلمه برای توصیف روشی استفاده می‌کند که سلول‌ها از طریق آن، به تدریج حین رشد یک رویان، نقش‌های تخصصی‌تری را عهده‌دار می‌شوند. وقتی که رویان در حال رشد به سلول‌ها دستور می‌دهد که این نقش‌ها را متقبل بشوند، آن‌ها آن اطلاعات را به خاطر می‌سپارند و به ندرت از مسیرشان عدول می‌کنند. بدین ترتیب، وقتی که به یک سلول دستور داده شد که ساختن بخشی از کلیه را برعهده بگیرد، این سلول در همان بخش از کلیه باقی می‌ماند. امروزه اغلب زیست‌شناسان کلمه‌ی اپی‌ژنتیک را براساس همان اندیشه‌های وودینگتون استفاده می‌کنند. اپی‌ژنتیک مجموعه‌ای از واکنش‌های شیمیایی است که سلول‌ها از آن‌ها برای روشن یا خاموش کردن ژن‌ها به روش‌هایی ثابت و ماندگار استفاده می‌کنند. این فرایندهای اپی‌ژنتیکی موجب تغییر خودتوالی DNA ی ژن‌ها نمی‌شوند، بلکه آن‌ها از طریق افزودن «برچسب»‌هایی شیمیایی به DNA یا به پروتئین‌هایی که به آن DNA وابسته (متصل) هستند، عمل می‌کنند. این برچسب‌ها الگوهایی را در فعالیت ژن‌ها ایجاد می‌کنند که در طول عمر سلول و حتی گاهی اوقات طولانی‌تر، می‌توانند گاه به گاه از یک نسل به نسل بعدی حفظ شوند، و به طور بالقوه اطلاعاتی در مورد تجربیات و تاریخچه‌ی زندگی موجودات زنده‌ی بخصوصی را به شکل شیمیایی، از والدین به فرزندان‌شان و سپس به نسل‌های بعدی منتقل کنند. برخی بیان داشته‌اند که مقاومت بینا-نسلی این الگوهای بیان ژنی، چالش عمده‌ای را در برابر این مفهوم که توارث تنها به توالی‌های DNA رمزگذاری شده در ژن‌ها وابسته است، به وجود می‌آورند. اما شواهد کنونی حاکی از این هستند که توارث اپی‌ژنتیکی بینا-نسلی فقط در موارد معدودی اتفاق می‌افتد و به نظر می‌رسد که به ندرت در انسان‌ها و پستانداران دیگر ظهور پیدا می‌کند.

پردازش اطلاعات علاوه بر تنظیم ژنی، برای روش‌هایی که موجودات زنده از طریق آن‌ها ساختارهای منظمی را در فضا ایجاد می‌کنند، حائز اهمیت می‌باشد. پروانه‌ی گوگردی من را در نظر بگیرید. ساختمان بسیار پیچیده‌ای دارد: بال‌ها با دقت شکل گرفته‌اند تا به او اجازه پرواز کردن را بدهند، لکه‌ها و رگه‌های بسیار ظریفی بر روی بال‌های‌شان قرار دارد. علاوه بر این، همه‌ی پروانه‌ها بر اساس طرح مشابهی به وجود آمده‌اند: برای مثال همه‌شان یک سر، سینه و بطن، شش پا و دو شاخک دارند. همه‌ی

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این ساختارها در همان نسبت‌ها و اندازه‌های قابل پیش‌بینی ایجاد شده‌اند و رشد می‌کنند. تمامی این ساختار فضایی شگفت‌انگیز چگونه به وجود آمده است؟ چگونه همه این‌ها از یک سلول تخمک منفرد پدید آمده‌اند؟

حتی سلول‌ها هم می‌توانند ساختارها و اشکال به شدت متفاوت و متنوعی به خود بگیرند که کاملاً از سلول‌های منظم و جعبه‌مانندِ چوب‌پنبه‌ای که رابرت هوک در قرن هفدهم توصیف‌شان کرد و سلول‌های ریشه پیازی که در مدرسه مشاهده‌شان کردم، متمایز باشند - بر روی سلول‌های شش، موهای شانه‌مانندی قرار دارد که ضربه‌های مداوم آن‌ها، مخاط و عفونت‌ها را از شش به بیرون می‌فرستند، سلول‌های مکعب‌مانندی که در استخوان‌های تان زندگی کرده و آن را ساخته‌اند، و سلول‌هایی عصبی که رشته‌های بلند و چند شاخه‌ای‌شان به همه قسمت‌های بدن تان می‌رسند، این‌ها تنها چند مثال از موارد بسیار زیاد دیگر می‌باشند. و اندامک‌های درون سلول‌ها می‌توانند با تغییرات سلول، به دقت در آن جای گرفته، رشد کرده و موقعیت‌شان را تنظیم کنند.

نحوه به وجود آمدن این نظم فضایی، یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل در زیست‌شناسی می‌باشد. پاسخ‌های قانع‌کننده به درک ما از چگونگی مخابره اطلاعات در فضا و زمان بستگی خواهند داشت. امروزه ما فقط درک کاملی از ساختار آن چیزهای زیست‌شناختی‌ای داریم که مستقیماً از تجمع مولکول‌ها به وجود آمده‌اند. ریبوزوم مثال خوبی از این موضوع است. اشکال این چیزهای نسبتاً کوچک توسط پیوندهایی شیمیایی که بین اجزای مولکولی برقرار می‌گردند، تعیین می‌شود. می‌توانید اینطور تصور کنید که این ساختارها با افزوده شدن قطعاتی به یک پازل سه بعدی، چیزی شبیه به لگو ساخته شده‌اند. این یعنی اینکه اطلاعاتی که برای سرهم کردن این ساختارها نیاز است، در شکل خود اجزای ریبوزومی - RNA ها و پروتئین‌ها - تجسم یافته است. این اشکال نیز به نوبه خود، با دقت بسیار زیادی توسط اطلاعات موجود در ژن‌ها تعیین شده‌اند.

درک چگونگی شکل گرفتن ساختارها در مقیاس‌هایی بزرگ‌تر، در چیزهایی مانند اندامک‌ها، سلول‌ها، اندام‌ها و در موجودات سخت‌تر می‌باشد. فعل و انفعالات مولکولی بین اجزا نمی‌تواند چگونگی شکل این ساختارها را توضیح بدهند. تا حدودی دلیل آن به این بر می‌گردد که آن‌ها بزرگ‌تر، و گاهی اوقات بسیار بزرگ‌تر از چیزهایی مانند ریبوزوم‌ها هستند. اما دلیل دیگرش این است که آن‌ها حتی هنگامی که سلول‌ها یا کالبد‌ها رشد کرده یا تحلیل می‌روند، می‌توانند ساختارهای تمام عیاری با اندازه‌هایی بسیار متنوع را تولید و حفظ کنند. این کار از تعامل‌های بین مولکول‌های لگومانند و ثابت ساخته نیست. به طور مثال تقسیم یک سلول را در نظر بگیرید. یک

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

سلول دارای ساختارِ فراگیر و سازماندهی شده‌ای می‌باشد، و وقتی که تقسیم می‌شود، دو سلول تقریباً به اندازهٔ نصف سلول اولیه به وجود می‌آیند، و هنوز هم هر کدام از آن‌ها ساختاری شبیه به سلول «مادری» شان را دارند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

پدیده مشابهی را در رشد و نمو یک رویان مثلاً در یک توتیای دریایی شاهد هستیم. تخمک بارور شده توتیای دریایی مکرراً تقسیمات سلولی انجام می دهد و یک موجود کوچک پیچیده و نسبتاً زیبا به وجود می آید. اگر دو سلول تشکیل شده بعد از اولین تقسیم تخمک، از هم جدا شوند، پس هر سلولی دو توتیای دریایی کامل را به وجود خواهد آورد، اما جای شگفتی اینکه هر کدامشان تنها نصف اندازه یک توتیای معمولی در آن سن را خواهند داشت. این خودتنظیمی اندازه و شکل، بسیار اعجاب انگیز است و برای بیش از یک قرن، زیست شناسان را به خود مشغول کرده است.

اما زیست شناسان با تفکر راجع به اطلاعات، تازه دارند می فهمند که این چیزها چگونه شکل می گیرند. جنین های در حال نمو، اطلاعات مورد نیاز برای تبدیل سلولی منفرد یا گروهی از سلول ها به ساختاری به شدت قاعده مند را از طریق ایجاد شیبی شیمیایی به وجود می آورند. اگر یک قطره کوچک جوهر را در کاسه ای از آب بچکانید، جوهر به آرامی از محل اولیه قطره به اطراف پخش می شود. هر چه از قطره دورتر می شویم، از غلظت رنگ جوهر کاسته و یک شیب شیمیایی ایجاد می شود. از این شیب می تواند به مثابه یکجور اطلاعات استفاده کرد: برای مثال، اگر غلظت مولکول های جوهر زیاد باشد، ما می فهمیم که به مرکز کاسه، محل چکانیده شدن قطره نزدیک تر هستیم.

حالا بیایید جای این کاسه را با توده ای از سلول های هم شکل و یکسان عوض کنیم، و به جای جوهر، یک دوز از پروتئینی خاص را در یک سمت توده تزریق کنیم که می تواند موجب تغییر خصوصیات سلول ها شود. این آزمایش، روشی برای افزودن اطلاعاتی فضایی به آن سلول ها پیش پای ما می گذارد، و به موجب آن سلول ها می توانند شروع کنند به گرفتن الگویی خاص. پروتئین در میان سلول ها پخش خواهد شد، و در یک سمت توده غلظت بالایی از پروتئین خواهیم داشت، و در سمت دیگر آن غلظتی پایین، و در نتیجه یک شیب غلظت پدید می آید. اگر سلول ها در قبال این غلظت های بالا و پایین واکنش های متفاوتی نشان بدهند، شیب پروتئین می تواند اطلاعات مورد نیاز برای شروع به ساخت جنینی پیچیده را فراهم نماید. برای مثال اگر غلظت بالایی از پروتئین، سلول های سر، غلظت متوسط آن سلول های سینه، و غلظت های پایین سلول های بطن را به وجود بیاورند، پس از نظر تئوری، یک شیب ساده پروتئین می تواند منجر به پیدایش یک پروانه گوگردی جدید شود. در مورد حیات، چیزها معمولاً به همین سادگی اتفاق نمی افتند، اما شواهد به خوبی نشان می دهند که شیب های غلظت مولکول های پیامرسان در سرتاسر کالبد موجودات در حال رشد و نمو در واقع نقشی در پدید آوردن اشکال زیست شناختی پیچیده ایفا می کنند.

مجموعه ای از همین مسائل بود که در اوایل دهه ۱۹۵۰ نظر آلن تورینگ - او به

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

رمزشکنِ انیگما^{۲۸} شهره بود و یکی از پایه گذاران محاسبات مدرن می باشد - را به خود جلب کرد. او به گونه ای متفاوت و خیال پردازانه توضیح داد که رویان چگونه دست به تولید اطلاعاتی فضایی در درون خودش می زند. او مجموعه ای از معادلات ریاضیاتی را پیشنهاد کرد که با کمک آن ها، رفتارِ موادی شیمیایی را که باهم واکنش نشان می دادند، و انتشار آن ها در درون یک ساختار، و رقم خوردنِ واکنش های شیمیایی خاصی را پیش بینی می کرد. برخلاف انتظار، معادلات او که مدل های واکنش-انتشار می نامیدشان، می توانستند مواد شیمیایی را به صورت الگوهای فضایی پرجزئیات و اغلب نسبتاً زیبایی درآورند. برای مثال، با دستکاری پارامترهای معادلات او، دو ماده می توانستند به شکل خطوط یا لکه ها یا نقطه هایی با فواصل منظم در بیایند. چیز جالب درباره مدل تورینگ این است که این طرح ها به طور خود به خودی و براساس قوانین نسبتاً ساده شیمیایی کنش و واکنش بین دو ماده به وجود می آمدند. به عبارت دیگر، راهی را برای سلول یا موجود در حال رشدی فراهم می آورد تا از طریق آن، اطلاعات مورد نیاز برای شکل دادن به خودش را تماماً در درون خودش به وجود بیاورد، فرایندی خودسامان. تورینگ پیش از اینکه اندیشه های نظری اش فرصت آزمایش در رویان های واقعی را پیدا کنند، درگذشت. اما زیست شناسان تکوینی امروزه معتقدند که این اندیشه می تواند سازوکار قرار گرفتن نقطه هایی بر پشت یوزپلنگ ها و خطوط راه راهی بر بدن بسیاری از ماهی ها، پراکنش پیازهای موی روی سرتان، و حتی تقسیم هر کدام از دست های نوزاد در حال رشد انسان و تمایز پنج انگشت مجزا در او را توضیح دهند.

هنگامی که از منظر اطلاعات به حیات می نگریم، مهم است که حواس مان باشد که سیستم های زیستی به تدریج و طی میلیون ها سال تکامل یافته اند. همان طور که دیدیم، ابتکارات حیات نتیجه تنوع و جهش های ژنتیکی تصادفی می باشند. سپس آن ها توسط انتخاب طبیعی غربال می شوند، و به موجب آن، افرادی که عملکرد خوبی دارند، توسط موجودات زنده و بازمانده موفق تر جذب می گردند. این بدین معنی است که سیستم های زنده همواره و به مرور، با اضافه شدن تدریجی «افزونه» ها (Add-on) تغییر می کنند. از بعضی جهات می توان آن را با گوشی یا کامپیوترتان مقایسه کنید که همواره به داندلود کردن و نصب آپدیت های جدیدی از نرم افزارها نیاز دارند. ابزارها عملکردها و کاربردهای جدیدی پیدا می کنند، اما نرم افزاری که آن ها را هدایت می کند نیز پیوسته پیچیده و پیچیده تر می شود. در مورد حیات هم به طور مشابهی، همه این «آپدیت» های ژنتیکی بدین معنی می باشند که کل سیستم متشکل از سلول ها با گذر زمان میل به پیچیده شدن دارد. این موضوع می تواند منجر به ایجاد پیچیدگی مفرط شود: ممکن است بین عملکرد بعضی از اجزا، همپوشانی به

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

وجود بیاید، بعضی از اجزا نیز بقایای بخش‌های از دور خارج شده خواهند بود، و به کلی به بعضی از آن‌ها برای عملکرد معمول سیستم، نیازی نخواهد بود، اما ممکن است در صورت معیوب شدن اجزای اصلی، بتوانند جبران مافات کنند.

همه این‌ها بدین معنی است که سیستم‌های زنده اغلب کارایی و ساختار کمتر منطقی‌تری نسبت به ساختار هوشمندانه مدارهای کنترل به دست بشر دارند، و به همین دلیل است که مقایسه بین زیست‌شناسی و علوم کامپیوتر را تا همین جا بیشتر نمی‌توان ادامه داد. سیدنی برنر نیز اذعان داشته است که «ریاضیات هنر کمال، و فیزیک هنر امر بهینه است. زیست‌شناسی هم به واسطه تکامل، هنر امر رضایت‌بخش می‌باشد». اشکال حیاتی که از انتخاب طبیعی جان سالم به در می‌برند، صرف داشتن «کارایی»، به زندگی‌شان ادامه می‌دهند، نه الزاماً به این خاطر که تا جای ممکن عملکرد مؤثرتر و ساده‌تری دارند. تمامی این پیچیدگی‌ها موجب می‌گردند که تجزیه و تحلیل شبکه‌های پیام‌رسانی زیستی و جریان اطلاعات، چالش برانگیز باشد. در اینجا تیغ اوکام^{۲۹} - گشتن به دنبال ساده‌ترین توضیح مناسب درباره یک پدیده - در اغلب موارد کاربردی ندارد. این موضوع می‌تواند فیزیکدانانی را که به زیست‌شناسی روی آورده‌اند، اذیت کند. فیزیک‌دانان تمایل دارند که جذب راه‌حل‌های ساده و زیبا بشوند، و چندان با واقعیت آشفته و ناکامل سیستم‌های زنده راحت نیستند.

آزمایشگاه من بارها و بارها با پیچیدگی مفرط و تودرتو بودن ناشی از انتخاب طبیعی کشمکش داشته است. زیرا آن‌ها می‌توانند مبانی اصلی نحوه عملکرد فرایندهای زیستی را تحت‌الشعاع خود قرار داده و اجازه دیده شدن به آن‌ها ندهند. برای مرتفع کردن این مشکل، ما سلول‌های مخمر را از نظر ژنتیکی دستکاری می‌کنیم تا نسخه بسیار ساده‌تر شده‌ای از مدار کنترل چرخه سلولی به وجود بیاوریم. مانند این است که همه اجزای غیرضروری برای عملکردهای مهم یک خودرو - مانند بدنه، چراغ‌ها و صندلی‌ها - را از آن جدا کنیم و فقط اجزای ضروری - مانند موتور، چرخ‌ها و دستگاه انتقال نیرو - را باقی بگذاریم. این کار بیشتر از آنچه انتظار داشتیم، جواب داد. سلول‌های ساده شده ما هنوز هم می‌توانستند جنبه‌های عمده‌ای از کنترل چرخه سلول را برآورده کنند. تبدیل یک سازوکار پیچیده به اجزای ابتدایی و اصلی آن، موجب ساده‌تر شدن تجزیه و تحلیل جریان اطلاعات برای ما می‌شود، و بنابراین درک جدیدی را در رابطه با سیستم کنترل چرخه سلولی در اختیارمان می‌گذارد.

ژن $cdc2$ یکی از آن گروه از تنظیم‌کننده‌های اصلی چرخه سلولی است که در این آزمایش به طور چشمگیری برجسته شد. وقتی که یک سلول مخمر در درون چرخه سلولی قرار می‌گیرد، خود سلول به طور پیوسته رشد می‌کند و میزان مجموعه پروتئینی CDK ی حاوی سیکلین و حاوی $cdc2$ نیز افزایش می‌یابد. از منظر

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

اطلاعات، سلول از میزان CDK ی فعالی بهره می برد که هم به مثابه ورودی ای که منعکس کننده اطلاعاتی راجع به اندازه سلول می باشد، و هم به عنوان پیامی حیاتی عمل می کند که جرقه رویدادهای مهم را در درون چرخه سلولی می زند. پروتئین هایی ضروری که در همان ابتدای چرخه سلولی توسط مجموعه CDK فسفات دار می شوند، منجر به رونوشت برداری از DNA در فاز S می شوند، و پروتئین هایی ضروری که در اواخر چرخه فسفات دار می شوند، منجر به میتوز و تقسیم سلولی در انتهای چرخه سلولی می گردند. حساسیت پروتئین های «ابتدای چرخه» نسبت به فعالیت آنزیم CDK، بیش تر از پروتئین های «اواخر چرخه» می باشد، بنابراین آن ها وقتی که فعالیت CDK در سلول کمتر می شود، فسفات دار می گردند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این مدل ساده کنترل چرخه سلولی، فعالیت CDK را به مثابه اتاق هماهنگی در مرکز کنترل چرخه سلولی می‌داند. پیچیدگی‌های ظاهری شبکه، کارکردهای زیاده از حد اجزای مختلف، وجود سازوکارهای کنترل کم اهمیت‌تر، و حتی شاید میل ذهن آدمی به قبول پیچیدگی به جای گشتن به دنبال سادگی، همگی موجب شده‌اند که توضیح اصلی از نظر ما پنهان شده باشد.

در بخش زیادی از این فصل، من بر روی سلول‌ها متمرکز شده‌ام. زیرا آن‌ها واحدهای ساده حیات می‌باشند. اما تفکر راجع به حیات به مثابه اطلاعات، ما را به ورای سلول‌ها هدایت می‌کند. اگر به دنبال راه‌هایی برای درک نحوه به وجود آمدن واکنش‌های مولکولی، فعالیت‌های آنزیمی و سازوکارهای فیزیکی، مخابره، دریافت، ذخیره و تولید اطلاعات باشیم، متوجه خواهیم شد که در آن‌ها پتانسیل بالایی برای کسب دانش جدید و قدرتمندی راجع به همه بخش‌های زیست‌شناسی وجود دارد. اگر این موضوع به رویکرد متداول‌تری تبدیل شود، احتمالاً زیست‌شناسی از دنیای نسبتاً همه فهم و آشنایی که از گذشته‌ها وجود داشته است، به دنیایی انتزاعی‌تر نقل مکان خواهد کرد. احتمالاً آن را باید در مسیر تغییرات بزرگی دانست که در فیزیک اتفاق افتاده است، نقل مکان از دنیای اساساً همه فهم ایزاک نیوتون به کهکشان آلبرت اینشتین که نسبیت بر آن حاکم بود، و سپس به «اعجاب‌انگیزی» کوانتوم که در نیمه اول قرن بیستم توسط ورنر هایزنبرگ و نیز اروین شرودینگر آشکار گردید. احتمالاً همین پیچیدگی زیست‌شناسی بوده است که ما را به سمت توضیحاتی عجیب و غریب و غیرملموس کشانده است، و زیست‌شناسان برای سر در آوردن از آن‌ها بیش از پیش به کمک دانشمندانی از رشته‌های دیگری مانند ریاضیات، علوم کامپیوتر و فیزیک - و حتی فیلسوفانی که بیشتر به تفکر انتزاعی عادت کرده‌اند و کمتر بر روی تجربه روزمره از دنیا تمرکز دارند - نیاز دارند.

تصور می‌کنم از حیات که اطلاعات در مرکز آن قرار دارد، به ما در درک سطوح بالاتری از سازماندهی زیستی نیز کمک خواهد کرد. همچنین می‌تواند بر چگونگی کنش و واکنش سلول‌ها با هم برای به وجود آوردن بافت‌ها، چگونگی به وجود آمدن اندام‌ها از بافت‌ها، نحوه همکاری اندام‌ها برای ایجاد موجودات زنده کاملاً عملگرایی مانند آدمی نوری بتاباند. این امر حتی در مورد مقیاس‌های بزرگ‌تر، وقتی که به چگونگی کنش و واکنش موجودات زنده با یکدیگر، چه در درون اعضای یک گونه و چه بین گونه‌ها، و نحوه عملکرد اکوسیستم‌ها و زیست‌کره هم می‌نگریم، صادق می‌باشد. واقعیت این است که مدیریت اطلاعات در همه مقیاس‌ها، از مولکولی تا زیست‌کره صورت می‌گیرد، و برای نحوه بیرون کشیدن معنایی از دل فرایندهای حیات توسط زیست‌شناسان، بسیار حائز اهمیت و کاربردی می‌باشد. اغلب بهترین کار این است که

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

به دنبال توضیحاتی در همان سطح پدیده مورد مطالعه مان بگردیم. قبول کنیم که همیشه لازم نیست که این توضیحات به قلمروی مولکولی ژن ها و پروتئین ها برده شوند.

با این حال، وجود چنین مشابهت هایی در نحوه مدیریت اطلاعات در یک مقیاس مفید است و می تواند نحوه فعالیت اجزا را در درون سیستمی بزرگ تر یا کوچک تر آشکار سازد. برای مثال، واحدهای بنیادین و منطقی بازخورد که آنزیم های متابولیک را کنترل کرده، ژن ها را تنظیم می کنند و موجب حفظ هموستازی در بدن می شوند، مشابهت هایی با واحدهای بازخوردی دارند که به اکولوژیست ها این امکان را می دهند که به هنگام انقراض گونه هایی خاص یا مهاجرت آن ها به بیرون از محدوده های معمول شان در نتیجه تغییرات اقلیمی یا تخریب زیستگاه ها، پیش بینی بهتری داشته باشند که محیط زیست های طبیعی احتمالاً چه تغییراتی می کنند.

به واسطه علاقه ام به سوسک ها و پروانه ها و به طور کلی به حشرات، به طور روزافزونی نگران کاهش تعداد و تنوع حشراتی هستم که در بسیاری از مناطق جهان مشاهده می شوند. چیزی که بخصوص انسان را آزار می دهد، این است که ما نمی دانیم چرا این اتفاق در حال رخ دادن است. به خاطر تخریب زیستگاه ها، تغییرات اقلیمی، کشاورزی تک محصولی، آلودگی نوری، استفاده بی رویه از حشره کش ها است یا دلیل دیگری دارد؟ توضیحات بسیاری برای آن ارائه شده است و برخی از افراد از درست بودن نظریه های خاص شان بسیار مطمئن هستند. اما حقیقت اینکه ما واقعاً دلیل آن را به درستی نمی دانیم. برای اینکه بتوانیم کمکی به معکوس کردن کاهش جمعیت های حشرات کرده باشیم، بایستی رفتارهای متقابل بین آن ها و بقیه دنیای اطراف شان را درک کنیم. ما این درک را به طور عمده از طریق دانشمندانی به دست خواهیم آورد که در عرصه های مختلف فعالیت داشته، و به همکاری در زمینه و تفکر درباره این موضوعات از منظر اطلاعات می پردازند.

به هر سطحی از سازماندهی زیستی که بنگریم، تلاش های مان برای عمق بخشیدن به دانش مان، به توانی ما در فهمیدن چگونگی مدیریت اطلاعات در درون آن ها بستگی دارند. به این ترتیب می توانیم از «توصیف» پیچیدگی به سمت «درک» پیچیدگی حرکت کنیم. به محض اینکه بتوانیم این کار را انجام بدهیم، تازه می توانیم دریابیم که چگونه پروانه های در حال پرواز، باکتری های مصرف کننده قند، رویان های در حال رشد و همه دیگر اشکال حیات، جهشی مهم و اساسی در زمینه تبدیل اطلاعات به دانشی معنادار انجام می دهند تا بتوانند با کمک آن، اهداف شان مبنی بر بقا، رشد، تکثیر و تکامل را تحقق ببخشند.

درک در حال پیشرفت ما از بنیان های شیمیایی و اطلاعاتی حیات، این توانایی فزاینده

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

را در اختیارمان می‌گذارد تا نه تنها معنای حیات را دریابیم، بلکه در فعالیت‌های عناصر و موجودات زنده نیز مداخله کنیم. لذا پیش از آنکه از بینش بدست آمده در بالا آمدن از پنج پله‌مان، برای تعریف چستی حیات استفاده کنیم، می‌خواهم بینم که چگونه می‌توانیم از دانش زیست‌شناسی برای تغییر دنیا استفاده کنیم.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

تغییر دادن دنیا

در سال ۲۰۱۲، در انتظار سفر به ایستگاهی تحقیقاتی واقع در پایگاه اسکات در قطب جنوب بودم. من همیشه دلم می‌خواست که از بیابان وسیع و یخزده قطب جنوب - به معنای واقعی کلمه، آخر دنیا - دیدن کنم و سرانجام این فرصت را پیدا کرده بودم. پیش از سفر، مجبور بودم که آزمایش‌های معمول پزشکی را انجام بدهم. اما نتایج دور از انتظار بودند. من برای اولین بار در زندگی‌ام، با احتمال مرگ مواجه شده بودم.

من مشکل جدی قلبی داشتم. طی چند هفته بعد از آگاه شدن از این خبر غیرمنتظره، بیهوش و به اتاق عمل انتقال داده شدم. جراح سینه‌ام را شکافت و رگ‌های خونی معیوبی را که نمی‌توانستند خون کافی به ماهیچه‌های قلبم برسانند، شناسایی کرد. سپس چهار تکه کوچک از سرخرگی در درون سینه‌ام و یک سیاهرگ از پایم برداشته و آن‌ها را طوری به قلبم متصل کرد که بتوانند از طریق میانبر، خون را به مناطق مشکل‌زا برسانند. چند ساعت بعد، من کوفته و زخم برداشته، اما با قلبی معالجه شده به هوش آمدم.

آن عمل جراحی جانم را نجات داد. همچنین این مهارت زیاد و دلسوزی کادر درمان بود که مرا درمان کرد، موفقیت عمل جراحی کاملاً به درک ما از ماهیت حیات بستگی داشت. هر مرحله از آن توسط دانش ما از بدن و بافت‌های انسان، و سلول‌ها و شیمی درون آن‌ها پیش می‌رود. متخصص بیهوشی مطمئن بود داروهایی که وارد بدنم می‌کند، مغزم را به طور برگشت‌پذیری در وضعیت ناهشیاری قرار می‌دهد. محلولی به درون قلبم دمیدند که برای چند ساعت ضربان آن را کاملاً قطع کردند. این محلول، حاوی غلظتی از پتاسیم بود که دکترها می‌دانستند آنقدری هست که شیمی سلول‌های ماهیچه‌های قلبم را به گونه‌ای تغییر بدهند که آن‌ها را آرام کنند. دستگاهی برای قلب و شش‌هایم قرار داده شد تا وظیفه اکسیژن‌رسانی را به نحو احسن انجام داده و آن را به میزان مناسبی در اختیار خونم قرار دهند. در حین عمل و بعد از آن، آنتی‌بیوتیک‌هایی دریافت می‌کردم تا جلوی هجوم باکتری‌های عفونی را بگیرند. بدون این همه دانش اندوخته شده درباره حیات، امروز این فرصت به من دست نمی‌داد که این کلمات را به نگارش درآورم.

همین طور که درک ما از حیات افزایش پیدا کرده است، ما به قدرت جدیدی برای دستکاری و تغییر اشکال حیات دست پیدا کرده‌ایم. اما ما باید این قدرت‌ها را باید درست به کار بگیریم. سیستم‌های زنده پیچیده‌اند، بنابراین اگر پیش از اینکه به شناخت کافی از آن‌ها برسیم، در آن‌ها مداخله کنیم، به خطا خواهیم رفت و ممکن است به جای حل کردن مشکلات، مشکلات بیشتری به بار بیاوریم.

در سرتاسر تاریخ، اغلب انسان‌ها پیش از رسیدن به سن پیری، در نتیجه ابتلا به

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

بیماری‌های عفونی می‌مردند. گفته می‌شود که در اثر تهاجم باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها، کرم‌ها و به دلیل اقامت عفونت‌ها و انگل‌های دیگر در بدن انسان‌ها، میلیون‌ها نفری که بسیاری‌شان هنوز کودک بودند جان‌شان را از دست داده‌اند. طاعون خیارکی که در قرن چهاردهم در سرتاسر جهان شیوع پیدا کرد، موجب مرگ و میر تقریباً نیمی از جمعیت اروپا شد. برای بخش اعظم تاریخ، مرگ حضوری همیشگی در زندگی روزانه افراد داشته است.

اما این موضوع امروزه چندان صادق نیست. جاهایی که واکسیناسیون، و داروهای ضد میکروبی در دسترس است، ما ابزار لازم برای پیشگیری، درمان یا کنترل طیف وسیعی از بیماری‌های عفونی پیش‌تر کشنده را در اختیار داریم. حتی HIV که زمانی بعضی‌ها از آن به عنوان طاعون بزرگ بعدی یاد می‌کردند، امروزه با مراقبت‌های مناسب می‌تواند به مثابه یک وضعیت مزمن پایدار درمان شود. بعد از هزار سالی که خدمات پزشکی عمدتاً بر پایه خرافات، توجیهات مبهم و درمان‌هایی اثبات نشده و غیرقطعی و گاهی اوقات خطرناک استوار بود، این گذار را واقعاً می‌توان یک تغییر معجزه‌آسا قلمداد کرد. همه این‌ها به دانش ما از حیات وابسته بوده است که توسط علم تولید شده، و سپس در کل جهان به کار گرفته شد.

با این حال هنوز مسیری طولانی برای رفتن به جنگ بلای باستانی بیماری‌های عفونی در پیش داریم. در حالی که این کلمات را در بهار ۲۰۲۰ می‌نویسم، پاندمی ویروس کرونا بلبشویی در سرتاسر جهان به راه انداخته است. بسیاری از بیماری‌های ویروسی، مانند بیماری ایجاد شده به وسیله همین ویروس کرونا، کووید ۱۹ می‌توانند منجر به بستری شدن فرد شده و حتی مهلک باشند. و اگرچه شیوع ابولا که در ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ سرتاسر غرب آفریقا را در نوردید، منجر به توسعه بسیار سریع واکسیناسیون مؤثر گردید، اما چنین اقداماتی تنها زمانی مفید واقع خواهند شد که در زمان مناسب به دست افرادی برسند که به آن‌ها احتیاج دارند. هم در کشورهای غنی و هم کشورهای فقیر، جمعیت‌های زیادی وجود دارند که هنوز به درمان‌های قطعی دسترسی مناسبی ندارند. جای شگفتی است که در بعضی از ملل پیشرفته، سیاستمداران توصیه‌های دانشمندان و متخصصین را نادیده گرفته‌اند و موجب تضعیف اقدامات لازم جهت مقابله با یک چنین اپیدمی و پاندمی‌هایی شده‌اند. این نفی در واقع منجر به پیامدهای هولناکی شده است. اصلاح همه این‌ها بایستی از اولویت‌های ضروری بشر باشد.

آن‌هایی از ما که آنقدر خوش‌شانس هستند که در جوامعی با خدمات درمانی خوبی زندگی می‌کنند، باید سپاسگزار اقدامات حفاظتی آن باشند. خدمات درمانی‌ای مانند عمل قلبی که من از لحظه مراجعه، فارغ از توانایی مالی‌ام، به طور رایگان از سرویس

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

سلامت ملی بریتانیا دریافت کردم، نشانه یک جامعه متمدن می باشد. در سیستم های درمانی «پرداخت به محض ورود»، فقیرترین افراد مجازات می شوند، و سیستم های بیمه مبتنی بر ریسک^{۳۰} به مجازات مستمندترین افراد می پردازند. و همچنین افرادی وجود دارند که خودسرانه و بدون دلایل کافی به انتقاد از تأثیر و ایمنی واکسیناسیون می پردازند. آن ها باید به خاطر داشته باشند که این عدم پذیرش واکسن های تأیید شده و به لحاظ کلینیکی اثبات شده، مسئله ای اخلاقی می باشد. آن ها با این کارشان و با اخلال در ایمنی جمعی و اجازه دادن به گسترش آزادانه بیماری در جامعه، نه تنها امنیت خودشان و خانواده شان، بلکه امنیت بسیاری از اطرافیان شان را هم به مخاطره انداخته اند.

با این وجود، ما هرگز در مبارزه با بیماری های عفونی به طور کامل پیروز نخواهیم شد. و این به دلیل تکامل از طریق انتخاب طبیعی است. از آنجا که اغلب باکتری ها و ویروس ها می توانند بسیار سریع تکثیر شوند، ژن های شان نیز می توانند به سرعت سازگاری پیدا کنند. این یعنی اینکه سویه های جدید بیماری می توانند به هر میزانی پدید بیایند، و همواره راه های هوشمندانه ای را طی تکامل و برای فرار از دست و حقه زدن به سیستم های ایمنی و داروها به وجود آورند. به همین دلیل است که خطر مقاومت ضد میکروبی، یک تهدید جدی می باشد. این خطر، انتخاب طبیعی ای است که در جریان می باشد و در مقابل چشمان مان و با پیامدهایی هشدار دهنده دارد اتفاق می افتد. قرار دادن باکتری ها در معرض آنتی بیوتیک ها، بدون اینکه آن ها را به طور کامل از بین ببرند، به احتمال زیاد موجب می شوند که آن ها نسبت به داروها مقاوم شوند. به همین دلیل لازم است که دوزهای مناسبی از آنتی بیوتیک ها را - و فقط هنگامی که واقعاً به آن ها نیاز داریم - دریافت کنیم و دوره درمانی را طبق تجویز به پایان برسانیم. این کار ممکن است نه تنها سلامتی شما بلکه حتی سلامتی دیگران را از خطر نجات دهد. یک چنین خطری یا حتی چیزی بیشتر نیز در کمین سیستم های دامپروری ای قرار دارد که دوزهای پایینی از این داروها را به حیوانات می خوراند تا آن ها رشد بیشتری داشته باشند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

ما امروزه شاهد ظهور سویه‌هایی از باکتری‌ها هستیم که می‌توانند در مقابل تمامی اقدامات مان مقاومت کنند، بیماری‌های خاصی از آن‌ها نیز غیرقابل درمان می‌شوند. چنین باکتری‌های مقاومی می‌توانند زمان و روش‌های درمانی را برای چندین سال به قبل برگردانند و جان میلیون‌ها نفر را به خطر بیندازند. دنیایی را تصور کنید که خود یا خانواده‌تان در اثر خارش خاریک گل رز، گازیک سگ یا حتی با مراجعه به بیمارستان ممکن است دچار بیماری لاعلاجی شوید و در اثر آن از پای در بیایید. اما ما نباید جبرگرا باشیم. شناسایی یک مشکل، خود اولین قدم مهم برای حل آن می‌باشد. ما می‌توانیم از داروهای ضد میکروبی استفاده کنیم، اما باید در این کار محتاطانه‌تر عمل کنیم، ما همچنین می‌توانیم راه‌های بهتری را برای شناسایی و دنبال کردن عوامل بیماری‌زای مقاوم طراحی کنیم، و ما نیاز داریم داروهای ضد میکروبی قدرتمند و جدیدی را اختراع کرده و محققانی که به دنبال این داروها هستند را به خوبی حمایت و پشتیبانی کنیم. ما باید همه دانش‌مان درباره حیات را بر سر حل این مشکل بگذاریم - زیرا آینده‌مان احتمالاً به آن وابسته است.

با اصلاح و بهبود مراقبت‌های پزشکی و به عقب راندن تدریجی تهدید ناشی از بیماری‌های عفونی، میانگین امید به زندگی نیز به طور یکنواختی خود را بالا کشیده است. اما با طولانی‌تر شدن عمر افراد، آن‌ها بایستی با بیماری‌های غیرعفونی اما ناخوشایندی مانند بیماری‌های قلبی، دیابت، دایره وسیعی از بیماری‌های روحی و سرطان روبرو بشوند. کهولت سن و سبک زندگی غیرسالم، عوامل اصلی این‌ها هستند. این بیماری‌ها در مقیاسی جهانی رو به افزایش می‌باشند، و چالش‌های بزرگی را هم برای بیماران و هم دانشمندانی به وجود آورده‌اند که می‌خواهند آن‌ها را مطالعه کرده و درمان‌شان کنند.

سرطان را در نظر بگیرید - آن واقعاً یک بیماری هم نیست، بلکه انواع مختلفی دارد. سرطان‌ها با هم متفاوت هستند، و شیوع هر کدام‌شان در طول زمان تغییر پیدا می‌کند. بنابراین یک سرطان پیشرفته اغلب به نوبه خودش، تا حدودی مانند یک اکوسیستم است، و حاوی انواع بسیار متفاوتی از سلول‌های سرطانی می‌باشد که هر کدام‌شان هم جهش‌های ژنتیکی متفاوتی دارند. یک بار دیگر، در اینجا هم شاهد ردپای تکامل به وسیله انتخاب طبیعی هستیم. وقتی که سلول‌ها دچار جهش‌ها و تغییرات ژنتیکی جدیدی می‌شوند که آن‌ها را وا می‌دارند که به صورت غیرقابل کنترل شروع به تقسیم و رشد کنند، سرطان‌ها نیز آغاز می‌شوند. آن‌ها به خاطر مزیت انتخابی‌شان، می‌توانند رشد و نمو کنند: آن‌ها می‌توانند منابع بدن را در اختیار خود در آورند، بیش‌تر از سلول‌های غیرجهش‌یافته اطراف‌شان رشد کنند، و پیام‌های «توقف» بدن را نادیده بگیرند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

برخی از نویدبخش‌ترین روش‌های جدید برای درمان سرطان، برآمده از درک رو به رشد ما از حیات می‌باشند. برای مثال ایمنی‌درمانی (immunotherapy) سرطان می‌کوشد تا به سیستم ایمنی بدن آموزش بدهد که سلول‌های سرطانی را شناسایی کند و مورد حمله قرار دهد. این روش هوشمندی است، زیرا سیستم ایمنی می‌تواند دست به حملات فوق‌العاده دقیقی به سلول‌های سرطانی بزند، به طوری که به سلول‌های سالم اطراف هیچ صدمه‌ای وارد نسازد. از مطالعاتی که من و همکارانم بر روی چرخه سلولی مخمرهای سر به زیر انجام دادیم هم درمان‌های جدیدی نشأت گرفته‌اند. داروهایی که به نسخه‌های انسانی از پروتئین‌های کنترل‌کننده چرخه سلولی، CDK می‌چسبند و آن‌ها را غیرفعال می‌کنند، امروزه در درمان سرطان پستان بسیاری از زنان استفاده می‌شوند. چهار دهه پیش، من اصلاً فکرش را هم نمی‌کردم که کار بر روی سلول‌های مخمر، در نهایت این چنین مستقیماً منجر به درمان‌های جدید سرطان بشود. چون سرطان، پیامد ناخوانده توانایی سلول برای سازگاری و تکامل می‌باشد، ما هرگز نمی‌توانیم آن را به طور کامل از بین ببریم. اما با بهتر شدن درک ما از حیات، ما هم به طور فزاینده‌ای این قابلیت را پیدا می‌کنیم که در همان ابتدا سرطان را شناسایی کرده و به طور مؤثرتری آن را درمان نماییم. من مطمئن هستم که روزی خواهد رسید که دیگر سرطان به مانند امروز، ترسی برای مان نداشته باشد.

اگر بخواهیم که پیشرفت در مهار کردن سرطان و دیگر بیماری‌های غیرعفونی را سرعت ببخشیم، رمزگشایی از اطلاعات موجود در ژن‌های مان، راه‌های جدید و مهمی را پیش روی مان قرار می‌دهد. وقتی اولین طرح از توالی DNA ی ژنوم انسان در سال ۲۰۰۳ به طور جهانی به اشتراک گذاشته شد، نوید باز شدن درهایی به روی آینده نوی پزشکی پیشگیرانه را به ما می‌داد. بسیاری از افرادی که درگیر آن بودند، به دنیایی می‌نگریستند که احتمال بروز هر عامل ژنتیکی خطرناکِ بخصوصی را، از جمله پیش‌بینی راجع به آن خطرهایی که به سبک زندگی و رژیم غذایی ربط دارند، می‌توان در زمان تولد با دقت محاسبه کرد. اما تحقق چنین هدفی، هم از نظر علمی و هم اخلاقی، بسیار چالش برانگیز می‌باشد.

این موضوع تا حدودی به پیچیدگی‌های بسیار زیاد حیات باز می‌گردد. برخی از خصوصیات انسان، رفتاری درست مانند ویژگی‌های واضح و آشکار قلمه‌های نخود سبزی دارند که مندل در باغ‌اش مطالعه می‌کرد. بیماری‌هایی از قبیل بیماری هانتینگتون، تصلب کیستی بافت‌ها (Cystic fibrosis) و هموفیلی نیز به همین طریق، یعنی به وسیله نسخه‌های معیوبی از ژن‌هایی منفرد به وجود می‌آیند. روی هم رفته، این بیماری‌ها درد و مرارت بسیاری را برای فرد به بار می‌آورند، اما آن‌ها افراد نسبتاً معدودی را مبتلا می‌کنند. برعکس، بیماری‌ها یا اختلالات معمول‌تری

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

مانند امراض قلبی، سرطان و آلزایمر دارای عللی چند فاکتوره می‌باشند. آن‌ها در نتیجه تأثیرات ترکیبی چندین ژن خاصی به وجود می‌آیند که به روش‌هایی پیچیده و به سختی قابل پیش‌بینی فعالیت کرده و بر یکدیگر و بر محیطی که در آن می‌زیند تأثیر می‌گذارند. ما داریم شروع می‌کنیم به باز کردن زنجیره‌های پیچیده علت و معلولی‌ای که در میان طبیعت ما و عوامل محیطی‌مان به هم پیچیده‌اند، اما همه این پیشرفت‌های مان، کند و دیرباب می‌باشند.

این همان حیطه‌ای است که درک حیات به مثابه اطلاعات اهمیت پیدا می‌کند. محققان امروزه در حال جمع‌آوری مجموعه‌های عظیمی از داده‌ها می‌باشند - بعضی از آن‌ها حاوی توالی‌های ژنی، اطلاعات راجع به سبک زندگی و پرونده‌های پزشکی گردآوری شده از میلیون‌ها انسان گوناگون می‌باشند. برهمکنشی بین ژن‌ها و محیط زیست به قدری پیچیده می‌باشد که محققان در حال مطالعه بر روی آن‌ها، دارند به سمت طیفی از تکنیک‌های امروزه در دسترس، از قبیل روش‌های جدیدی مانند یادگیری ماشینی کشیده می‌شوند.

اما اندیشه‌های مفیدی در حال سر بر آوردن می‌باشند. امروزه این امکان را داریم که افرادی برای مثال با خطر بالای ابتلا به امراض قلبی یا چاقی مفرط را از طریق نمای ژنتیکی^{۲۱} آن‌ها شناسایی کنیم. همه این‌ها را می‌توان برای ارائه توصیه‌هایی در مورد سبک زندگی و درمان‌های دارویی مناسب برای تک‌تک اشخاص به کار برد. این‌ها پیشرفت‌های خوبی هستند، اما هر چه توانایی ما برای انجام پیش‌بینی‌هایی دقیق از روی ژنوم‌مان بیشتر می‌شود، ما باید به سختی در این باره فکر کنیم که بهترین راه استفاده از این دانش چیست.

پیش‌بینی دقیق ژنتیکی بیماری‌ها می‌تواند دشواری‌های بخصوصی را برای سیستم‌های درمانی متکی بر بودجه بیمه درمانی شخصی ایجاد کنند. بدون کنترل شدید بر روی نحوه استفاده احتمالی از اطلاعات ژنتیکی، افراد ممکن است فکر کنند به بیمه احتیاجی ندارند و مراقبت‌های پزشکی را رد کنند، یا مبالغ بسیار بالای بیمه را بدون هیچ خرده‌ای پرداخت کنند. در مورد سیستم‌هایی درمانی که از لحظه مراجعه رایگان می‌باشند، چنین مشکلاتی وجود ندارد. زیرا آن‌ها می‌توانند چنین پیشرفت‌هایی در زمینه مهیاسازی ژنتیکی را برای پیش‌بینی، تشخیص و درمان آسان‌تر بیماری‌ها استفاده کنند. اما همان‌طور که گفته‌اند، دسترسی آسان به اطلاعات، همیشه هم لذت‌بخش نیست. اگر علم ژنتیک به درجه‌ای از پیشرفت برسد که بتواند پیش‌بینی‌های دقیق و معقولانه‌ای راجع به زمان و نحوه احتمالی مرگ افراد ارائه کند، چه کسی حاضر است که این اطلاعات را دریافت کند؟

مقوله بعدی، آشکارسازی عوامل ژنتیکی تأثیرگذار بر روی عواملی غیرپزشکی مانند

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

هوش عمومی^{۳۲} و دستاوردهای آموزشی می باشد. در حالی که ما چیزهای بیشتری راجع به تفاوت های ژنتیکی بین افراد، جنسیت ها و جمعیت ها یاد می گیریم، باید مطمئن شویم که این اطلاعات هرگز زمینه ای برای تبعیض به وجود نمی آورند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

به موازات توانایی ما در قرائت ژنوم‌ها، پیشرفت‌هایی نیز در زمینه اصلاح و بازنویسی آن‌ها صورت گرفته است. آنزیمی به نام CRISPR-Cas9، ابزار قدرتمندی است که مانند یک قیچی مولکولی عمل می‌کند. دانشمندان می‌توانند از آن برای ایجاد برش‌هایی بسیار دقیق در DNA استفاده کنند تا توالی‌های ژنی را اضافه و حذف کنند و یا تغییر بدهند. این همان کاری است که ما از آن با نام ویرایش ژنی یا ویرایش ژنوم نام می‌بریم. زیست‌شناسان از حوالی سال ۱۹۸۰ می‌توانستند چنین کاری را بر روی موجودات زنده ساده‌ای مانند مخمر انجام بدهند، و این یکی از دلایل کار کردن من بر روی مخمر شکافدار بود. اما CRISPR-Cas9 توانست سرعت، دقت و کارایی ویرایش توالی‌های DNA را به شدت افزایش بدهد. همچنین این آنزیم کار ویرایش ژن‌های بسیاری از گونه‌های دیگر از قبیل انسان را بسیار آسان‌تر کرد.^{۳۳}

دیر یا زود ما می‌توانیم انتظار داشته باشیم که روش‌های درمانی جدیدی بر پایه سلول‌های ویرایش شده ژنی ابداع شوند. محققان در واقع در حال به وجود آوردن سلول‌هایی مقاوم در برابر بیماری‌های خاصی مانند HIV، یا مثلاً از آن‌ها برای حمله به سرطان‌ها استفاده کنند. اما امروزه آن‌ها به شدت جسورانه تلاش می‌کنند تا DNAی رویان انسان را در همان مراحل اولیه ویرایش کنند، و در نتیجه آن تغییراتی ژنتیکی را در همه سلول‌های فرد متولد شده و همه فرزندان احتمالی‌اش اعمال کنند. در حال حاضر این خطر وجود دارد که درمان‌های ژن محور ممکن است به طور تصادفی موجب تغییراتی در ژن‌های دیگری در ژنوم شوند. اما حتی اگر تنها ژن مورد نظر ویرایش شود، آن تغییرات ژنتیکی هم می‌توانند منجر به تأثیرات جانبی‌ای شوند که به سختی قابل پیش‌بینی بوده و به طور بالقوه خطرناک باشند. ما هنوز قطعاً ژنوم‌های خودمان را آنقدرها هم خوب نمی‌شناسیم. احتمالاً زمانی فرا برسد که این روش آنقدر ایمن دانسته شود که بتواند بسیاری از خانواده‌ها را از چنگال بیماری‌هایی ژنتیکی مانند هانتینگتون و تصلب کیستی بافت‌ها نجات دهد. اما استفاده از آن برای مقاصد ظاهری‌تر، مثلاً ایجاد کودکانی با سطح هوشی بالا، زیبایی بیشتر و توانایی‌های بالاتر قهرمانی، موضوع دیگری است. این حوزه دربردارنده یکی از غامض‌ترین نگرانی‌های اخلاقی درباره کاربرد زیست‌شناسی در زندگی انسان می‌باشد. گرچه امروزه صحبت از کاربرد ویرایش ژن‌ها در طراحی کردن کودکان، موضوع بسیار داغی است، اما در حین اینکه دانشمندان توانایی‌های قدرتمندتری را برای پیش‌بینی تأثیرات ژنتیکی، اصلاح ژن‌ها و دستکاری رویان‌ها و سلول‌های انسانی به دست می‌آورند، بسیاری از گروه‌هایی که به والدین مشاوره می‌دهند بایستی در سال‌ها و دهه‌های پیش رو به مسائل چالش برانگیز بیشتری فکر کنند. همه این مسائل باید در کل جامعه به بحث گذاشته شوند و از همین امروز باید راجع به آن‌ها

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

بحث کرد.

از سوی دیگر، پیشرفت‌ها در زمینه زیست‌شناسی سلولی در حال ارائه روش‌هایی برای درمان بیماری‌های دژنراتیو^{۳۴} می‌باشند. برای مثال، سلول‌های بنیادی (Stem cell) را در نظر بگیرید: سلول‌هایی که بدن آن‌ها را در وضعیتی رشد نیافته، تقریباً شبیه به همان سلول‌هایی که در مراحل اولیه تشکیل رویان وجود دارند، نگاه می‌دارد. ویژگی اصلی سلول‌های بنیادی این است که آن‌ها می‌توانند مکرراً تقسیم شوند، و سلول‌های جدیدی را به وجود آورند که بعداً می‌توانند ویژگی‌های تخصص یافته‌تری را کسب کنند. یک جنین در حال رشد یا یک کودک، دارای تعداد زیادی از سلول‌های بنیادی می‌باشد. زیرا آن‌ها همواره به سلول‌هایی جدید نیاز دارند. اما سلول‌های بنیادی حتی بعد از توقف رشد بدن، می‌توانند در بسیاری از بخش‌های مختلف بدن انسان بالغ هم باقی بمانند. روزانه میلیون‌ها سلول در بدن شما می‌میرند و یا دور انداخته می‌شوند. به همین دلیل است که پوست، ماهیچه‌ها، دیواره اعضا و جوارح داخلی، لبه قرنیه چشم‌ها و بسیاری از بافت‌های دیگر بدن‌تان حاوی جمعیت‌هایی از سلول‌های بنیادی می‌باشند.

در سالیان اخیر دانشمندان بر روی روش‌های جداسازی و پرورش سلول‌های بنیادی، و وادار کردن آن‌ها برای تبدیل شدن به نوع خاصی از سلول‌ها - برای مثال سلول‌های عصبی، یا سلول‌های کبد یا ماهیچه - کار کرده‌اند. همچنین امروزه میسر شده است که سلول‌هایی کاملاً بالغ و رشد یافته را از پوست فرد بیمار بردارند و آن‌ها را به روشی تیمار کنند که ساعت تکوینی این سلول‌ها را به عقب برگردانند تا بدین ترتیب به سلول‌هایی بنیادی تبدیل شوند. این موضوع چشم‌انداز شگفت‌انگیزی را در برابرمان می‌گستراند، احتمالاً یک روز می‌توانیم گوش پاک‌کنی را در درون لپ‌مان فرو ببریم و از آن سلول‌ها برای تولید سلول‌های یکسره متفاوتی در بدن‌مان استفاده کنیم. اگر دانشمندان و پزشکان بتوانند کاملاً بر روی این روش‌ها مسلط بشوند و بتوانند از ایمن بودن آن‌ها اطمینان حاصل کنند، می‌توانند به طور بالقوه انقلابی در درمان بیماری‌های دژنراتیو و جراحات‌ها، و پیوند اعضا پدید آورند. حتی شاید بتوانیم بیماری‌های امروزه لاعلاج مربوط به سیستم‌های عصبی و ماهیچه‌ها، از قبیل بیماری پارکینسون یا تحلیل عضلانی را درمان کنیم.

این پیشرفت، تنها بخشی از چیزهایی است که الهام‌بخش پیش‌بینی‌های جسورانه‌مان - بسیاری از آن‌ها از شرکت‌های سیلیکون ولی سر بر می‌آورند - درباره آینده به سرعت نزدیک‌شونده‌ای می‌باشند که در آن شاید بتوان روند پیر شدن را متوقف یا حتی معکوس کرد. مقید کردن این ادعا به واقعیت عملی، اهمیت زیادی دارد. شخصاً ترجیح نمی‌دهم که بعد از مرگ، مغز یا بدنم را در انجماد نگه دارند، به

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این امید که شاید در آینده‌ای به شدت نامحتمل مرا دوباره به هوش بیاورند، نیرویی تازه به من ببخشند و تا ابد زنده نگاهم دارند. پیری، نتیجه نهایی آسیب‌های روی هم تلنبار شده، مرگ و خاموشی از پیش برنامه‌ریزی شده سلول‌های بدن و اندام‌ها می‌باشد. حتی در آن افرادی که در سلامتی کامل به سر می‌برند، کشسانی پوست کمتر می‌شود و ارتجاع ماهیچه‌ها کاهش پیدا می‌کند، حساسیت سیستم‌های ایمنی کمتر می‌شود، و قلب نیز به مرور ضعیف می‌گردد. همه این‌ها یک عامل منفرد ندارند، و لذا بسیار بعید است که بتوان آن‌ها را خیلی راحت رفع کرد. اما کوچک‌ترین شکی وجود ندارد که در دهه‌های پیش رو شاهد بالا رفتن نرخ امید به زندگی خواهیم بود و - مهم‌تر از آن - کیفیت زندگی در دوران سالمندی نیز بهبود پیدا می‌کند. ما تا ابد زنده نمی‌مانیم، اما می‌توانیم از مزایای درمان‌های بیش از پیش با کیفیت‌تری که ترکیبی از سلول‌های بنیادی، داروهای جدید و درمان‌های ژن محور، و همچنین عادات سبک زندگی سالم می‌باشند، برای احیا و بازتولید بخش‌های زیادی از بدن‌های کهنسال و رنجورمان بهره‌مند شویم.

استفاده از دانش زیست‌شناختی فقط منجر به انقلابی در توانمندی‌های مان برای شفای بدن‌های از کار افتاده‌مان نشده است، بلکه به کل بشریت اجازه شکوفایی داده است. وقتی اجدادمان از حدود ۱۰,۰۰۰ سال قبل از میلاد، شروع به کشاورزی کردند، جمعیت جهان جهشی رو به جلو داشته است. اگرچه انسان‌ها در آن زمان چنین نگاهی به آن نداشتند، اما کشاورزی منجر به این شد که اجداد انسانی‌مان اصول انتخاب مصنوعی را برای اهلی‌سازی حیوانات و گیاهان به کار بگیرند. پاداش آن، منبع غذایی بسیار بزرگ‌تر و قابل اتکاتری بود.

در مقایسه با موج خروشان‌ی که در دوران پیشاتاریخ داشتیم، نرخ جمعیت جهان در دوران حیاتم رشد بسیار چشمگیرتری را تجربه کرده است: از زمان تولدم در ۱۹۴۹، جمعیت جهان تقریباً سه برابر شده است. این یعنی اینکه به طور روزانه باید به چیزی حدود ۵ میلیارد دهان اضافی غذا داد، و همه این غذای اضافی بایستی تقریباً در مساحت مشابهی از زمین‌های کشاورزی تولید شوند. انقلاب سبز که در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ آغاز شد، کلید حل این مشکل بود. این انقلاب شامل پیشرفت‌هایی در زمینه‌های آبیاری، کودها، کنترل آفات و مهم‌تر از آن، به وجود آوردن سویه‌های جدیدی از محصولات غذایی عمده می‌شد. برخلاف پرورش دهندگان و تولیدکنندگان در سرتاسر تاریخ، دانشمندان درگیر این انقلاب توانسته‌اند همه دانسته‌های‌شان درباره ژنتیک، بیوشیمی، گیاه‌شناسی و تکامل را گردآوری کرده و به سمت تولید واریته‌های جدیدی از گیاهان حرکت کنند. این کار به طور حیرت‌آوری موفقیت‌آمیز بود و گیاهان جدیدی با محصولاتی به طور معنی‌داری فراوان را به وجود آورد. اما

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این‌ها اعمال کاملاً بی‌هزینه‌ای هم نبودند. بعضی از اعمال کشاورزی فشرده و متمرکز آثار ویرانگری بر روی زمین، معیشت کشاورزان، و از سوی دیگر بر روی گونه‌هایی داشته‌اند که محیط زیست مشترکی با محصولات غذایی‌مان دارند. میزان هدررفت روزانه غذا افتضاح بزرگی است که باید چاره‌ای برای آن اندیشید. اما بدون این تزریق اساسی دانش زیست‌شناسی به اعمال کشاورزی در قرن پیش، سالیانه میلیون‌ها نفر انسان تلف می‌شدند.

جمعیت جهان امروزه نیز رو به رشد است. همان‌طور که شاهد این رشد می‌باشیم، نگرانی‌های‌مان نسبت به فعالیت‌های آسیب‌زای انسان‌ها بر روی دنیای زنده نیز افزایش پیدا می‌کند. اگر به پیش روی‌مان بنگریم، متوجه می‌شویم که ما با چالش به شدت پیچیده‌ی تحصیل غذای بیشتر و بیشتری از زمین و در عین حال، تلاش برای کاهش آثار زیست‌محیطی‌مان مواجه خواهیم بود. من فکر می‌کنم که ما بایستی از روش‌هایی که انقلاب کشاورزی را در قرن گذشته پیش برده‌اند، فراتر برویم و روش‌های کاراتر و خلاقانه‌تری را برای تولید غذا ابداع کنیم.

اما متأسفانه از دهه ۱۹۹۰ بدین سو، تلاش‌ها برای تولید سویه‌های تراریخته گیاهان و دام‌هایی با ویژگی‌های ارتقا یافته، با در بسته مواجه شده‌اند. این درهای بسته عمدتاً کوچک‌ترین ربطی به شواهد و درک علمی ندارند. دیده‌ام که مذاکرات درباره ایمنی غذاهای تراریخته همواره به وسیله سوءبرداشت‌ها، لابی‌گری‌های بی‌مورد و تزریق اطلاعات نادرست به حاشیه برده می‌شوند. مورد برنج طلایی را در نظر بگیرید که در اصلاح ژنتیکی، ژنی باکتریایی در درون یکی از کروموزوم‌های گیاه برنج قرار داده شده است و به موجب آن، این برنج مقادیر بالایی از ویتامین A را تولید می‌کند. تخمین زده می‌شود که در سراسر جهان چیزی حدود ۲۵۰ میلیون کودک در سنین قبل از مدرسه از کمبود ویتامین A رنج می‌برند که خود عامل اصلی نابینایی و مرگ و میر در آن‌ها می‌باشد. برنج طلایی می‌توانست راهی موفق و دست اول برای کمک به آن‌ها باشد، اما مکرراً مورد حمله کمپین‌های زیست‌محیطی و سازمان‌های مردم‌نهادی (NGO) (هایی) قرار گرفتند که حتی به آزمایش‌هایی میدانی که قرار بود ایمنی آن‌ها و تأثیرات آن‌ها بر روی محیط زیست را به آزمون بگذارند، آسیب رساندند.

آیا واقعاً قابل قبول است که مانع دسترسی ضعیف‌ترین اقشار جهان به ابداعاتی بشویم که می‌توانند یاری‌دهنده سلامتی و امنیت غذایی‌شان بشوند، بخصوص اگر که این ممانعت بیشتر از اینکه بر پایه علم باشد، به نظر ناشی از آرای ناآگاه و مد روز است؟ هیچ چیز ذاتاً سمی یا خطرناکی در درون مواد غذایی تولید شده از طریق روش‌های GM وجود ندارد. آن چیزی که حائز اهمیت می‌باشد، این است که اطمینان‌بخش بودن، کارآمدی و تأثیرات زیست‌محیطی و اقتصادی احتمالی «همه گیاهان و دام‌ها را

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

باید به طور یکسانی، فارغ از نحوه تولیدشان به آزمون گذاشت. ما باید توجه داشته باشیم که علم بایستی بی توجه به انگیزه های اقتصادی کمپانی ها، اندیشه های ایدئولوژیک NGO ها یا دغدغه های مالی هر دو، فقط به خطرات و مزایا بپردازد.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

من فکر می‌کنم که در دهه‌های پیش‌رو، ما از تکنیک‌های مهندسی ژنتیک بیشتر استفاده خواهیم کرد. این همان حوزه‌ای است که شاخه علمی نسبتاً جدیدی به نام زیست‌شناسی مصنوعی (Synthetic biology) نیز می‌تواند بر آن تأثیرگذار باشد. زیست‌شناسان این حوزه می‌کوشند تا از روش‌های مرحله به مرحله و متمرکزتری که در مهندسی ژنتیک مرسوم هستند، فراتر بروند و تغییرات رادیکال‌تری را بر روی برنامه‌ریزی [برنامه‌نویسی] ژنتیکی موجودات زنده اعمال کنند.

در اینجا چالش‌های تکنیکی مهمی، و تردیدهایی راجع به نحوه کنترل و محدود کردن این گونه‌های جدید وجود دارد، اما مزایای بالقوه آن‌ها می‌تواند حائز اهمیت باشد. زیرا شیمی حیات انعطاف‌پذیری و کارآمدی بسیار بیشتری نسبت به اغلب فرایندهای شیمیایی‌ای دارد که می‌توانیم از آن‌ها در آزمایشگاه‌ها و کارخانجات استفاده کنیم. ما با کمک GM و زیست‌شناسی مصنوعی می‌توانیم توانمندی شیمیایی حیات را دوباره به روش‌های جدید و قدرتمندی سازماندهی کنیم و مجدداً آن‌ها را به کار بگیریم. همچنین با کمک زیست‌شناسی مصنوعی قادر خواهیم بود که محصولات و دام‌هایی با مواد غذایی بیشتر و تقویت شده‌تری تولید کنیم، اما کاربرد آن بسیار گسترده‌تر از این‌ها هم خواهد بود. با به وجود آوردن گیاهان، حیوانات و میکروب‌هایی که اصلاح ژنتیکی شده‌اند، می‌توانیم انواع یکسره جدیدی از مواد دارویی، سوخت، و مواد اولیه ساختمانی و نساجی را تولید کنیم.

سیستم‌های زیست‌شناختی اصلاح شده جدید حتی ممکن است ما را در کنترل تغییرات اقلیمی نیز یاری بدهند. دانشمندان اجماع دارند که سیاره ما وارد مرحله‌ای از گرمایش رو به رشد جهانی شده است. این موضوع تهدیدی بزرگ برای آینده ما و آینده زیست‌کره‌ای است که ما تنها بخشی از آن می‌باشیم. چالشی که بیش از پیش پرداختن با آن ضرورت پیدا کرده است، کاهش میزان گازهای گلخانه منتشر شده توسط ما و در نتیجه کاهش میزان گرمایش می‌باشد. اگر بتوانیم گیاهانی را به وجود بیاوریم که کارایی بیشتری در فتوسنتز داشته باشند، یا این فرایند را در مقیاسی صنعتی و بیرون از محدوده سلول‌های زنده پیش ببریم، احتمالاً بتوانیم سوخت‌هایی زیستی و مواد غذایی‌ای صنعتی تولید کنیم که کربنی به وجود نمی‌آورند. همچنین دانشمندان احتمالاً بتوانند وارسته‌های جدید و مهندسی شده‌ای از گیاهان تولید کنند که می‌توانند در محیط‌زیست‌هایی حاشیه‌ای که پیش‌تر زیر کشت حمایتی نبوده‌اند، مثلاً در خاک‌های تخریب شده یا مناطق مستعد برای خشکسالی هم رشد کرده و کشت شوند. از چنین گیاهانی می‌توان نه تنها برای تغذیه مردم جهان، بلکه برای پایین کشیدن و ذخیره کربن دی‌اکسید و کمک به کنترل تغییرات اقلیمی نیز استفاده نمود. آن‌ها همچنین می‌توانند پایه و اساس کارخانجات زنده‌ای را تشکیل دهند که به

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

روش‌های پایداری کار می‌کنند. شاید بتوان به جای اتکا بر روی سوخت‌های فسیلی، سیستم‌هایی زیستی را به وجود آورد که با بازدهی بیشتری انرژی ضایعات، نور خورشید و محصولات جانبی را مصرف می‌کنند.

همگام با این اشکال حیاتی مهندسی شده، هدف دیگر ما افزایش مساحتی از سطح سیاره می‌باشد که توسط موجودات دارای قابلیت طبیعی فتوسنتز پوشیده شده است. این هدف، آنقدرها که در ابتدا به نظر می‌رسد، چنان ساده و راحت هم نیست. برای اینکه تأثیری معنی‌دار گذاشته باشیم، باید این طرح را در مقیاسی عظیم به کار بگیریم، و همچنین بایستی به مسئله ذخیره‌سازی طولانی مدت کربن به هنگام مرگ یا برداشت محصول گیاه نیز توجه داشته باشیم. این موضوع می‌تواند شامل جنگل‌ها، جلبک‌های زیر کشت و علف‌های دریایی داخل اقیانوس‌ها نیز بشود، و به تشکیل شدن خلاش^{۳۵} ها یاری رساند. اما هر گونه مداخله‌ای که به قدر کافی سریع و کارآمد عمل کند، ما را متوجه خواهد ساخت که درک ما از پویایی اکولوژیکی محدود می‌باشد. کاهش فزاینده و به شدت غیرمنتظره تعداد حشرات، نمونه بارزی از این موضوع می‌باشد. آینده ما به گونه‌های حشرات گره خورده است. زیرا آن‌ها بسیاری محصولات غذایی ما را گرده‌افشانی می‌کنند، خاک‌ها را ایجاد می‌کنند و بسیاری چیزهای مشابه دیگری را هم انجام می‌دهند.

پیشرفت در همه این کاربردها نیازمند درک بهتری از حیات و نحوه فعالیت آن می‌باشد. همه متخصصان کلیه شاخه‌های زیست‌شناسی - زیست‌شناسان مولکولی و سلولی، متخصصان ژنتیک، گیاه‌شناسان، جانورشناسان، اکولوژیست‌ها و غیره - باید در کنار یکدیگر و همراه با هم کار کنند تا به تضمین تداوم رونق و پیشرفت تمدن بشری همراه با زیست‌کره و نه به قیمت نابودی آن یاری برسانند. برای موفقیت در هر کدام از این‌ها، ما بایستی آگاهانه با ابعاد بی‌اطلاعی مواجه بشویم. علیرغم پیشرفت‌های بزرگی که در زمینه فهم نحوه فعالیت حیات داشته‌ایم، درک کنونی ما جانبدارانه است و گاهی اوقات بسیار زیاد هم جانبدارانه می‌شود. اگر می‌خواهیم در مسیر دستیابی به اهداف جاه‌طلبانه و عملگرایانه‌مان، به گونه‌ای سازنده - و ایمن - با موجودات زنده روبرو شویم، هنوز باید چیزهای زیادتری یاد بگیریم.

پیشرفت و توسعه کاربردهای جدید باید همواره دوشادوش تلاش برای یادگیری چیزهای بیشتری درباره نحوه فعالیت حیات، به جلو حرکت کند. یک بار شیمیدان برنده نوبل، جورج پورتر گفته بود که «بها دادن به علوم کاربردی به قیمت ضعیف نگه داشتن علوم پایه به این می‌ماند که در زیرسازی یک ساختمان صرفه جویی کنیم و هزینه آن را صرف هر چه بالاتر بردن طبقاتش بکنیم. فقط زمان لازم است تا کل عمارت فرو بریزد». اما اگر بنابر همین دلیل، دانشمندان نپذیرند که باید در هر جایی

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

که مسیر بود کاربردهای مفیدی را کشف کنند، این تنها از سر راحت‌طلبی‌شان خواهد بود. وقتی که فرصتی برای استفاده از این دانش برای خیر عمومی داریم، باید از آن استفاده کنیم.

اما این موضوع، سوالات جدیدی و مشکلات دیگری را پیش می‌کشد. چگونه ما می‌توانیم بر روی معنای «خیر عمومی» به توافق برسیم؟ اگر روش‌های جدید درمان سرطان به شدت گران تمام شوند، چه کسانی بایستی آن‌ها را دریافت کنند و چه کسانی نباید؟ آیا باید کسانی که از واکسن زدن بدون هیچ گونه ادله کافی امتناع می‌کنند و یا از آنتی بیوتیک‌ها استفاده نابجا دارند را مجرم دانست؟ اگر رفتارهای مجرمانه بخصوصی تأثیرات زیادی بر روی ژن‌های فرد بگذارند، می‌توان برای آن‌ها مجازاتی تعیین کرد؟ اگر ویرایش کردن ژن خط سلول‌های جنسی^{۳۶} بتواند خانواده‌ها را از شر بیماری هانتینگتون خلاص کند، باید آن‌ها اجازه استفاده از آن را داشته باشند؟ آیا اصلاً می‌توان شبیه‌سازی (cloning) یک انسان بالغ را پذیرفت؟ اگر برای مقابله با تغییرات اقلیمی مجبور باشیم که میلیاردها جلبک اصلاح نژادشده را در اقیانوس‌ها کشت کنیم، آیا باید این کار را انجام بدهیم؟

اما این‌ها چند سوال غالباً به شدت شخصی و به طور روزافزونی ضروری می‌باشند که درک فزاینده‌مان از حیات، ما را به سمت مطرح کردن آن‌ها کشانده است. تنها راه برای یافتن پاسخ‌های قابل قبول برای آن‌ها، بحث و گفتگوهای مداوم، صادقانه و آزادانه می‌باشد. دانشمندان نقش ویژه‌ای در این بحث‌ها ایفا می‌کنند، زیرا این آن‌ها هستند که باید مزایا، ریسک‌ها و خطرات هر گامی که به پیش بر می‌داریم را به صراحت توضیح بدهند. اما این کل جامعه است که بایستی در این بحث‌ها گوی سبقت را ببرایند. رهبران سیاسی نیز باید خودشان را کاملاً درگیر این مسائل کنند. امروزه تعداد بسیار بسیار اندکی از آن‌ها توجه کافی به تأثیرات عظیم علم و فناوری بر روی زندگی و اقتصادمان دارند.

اما نوبت سیاست، «بعد» و نه «قبل» از علم است. جهان بارها بارها شاهد بوده است که هنگامی که واقعیت عکس می‌شود، چگونه همه چیز به طور وحشتناکی در مسیر اشتباهی قرار می‌گیرد. جماهیر شوروی در جنگ سرد توانست بمبی اتمی بسازد، و همچنین اولین انسان را به فضا بفرستد. اما به کار بر روی ژنتیک و اصلاح محصولات غذایی خسارات شدیدی وارد آورد. زیرا استالین به دلایلی ایدئولوژیک از لیسینکو^{۳۷}ی شارلاتانی پشتیبانی می‌کرد که مخالف ژنتیک مندلی بود. در نتیجه این سیاست، مردم از گرسنگی مردند. در سالیان اخیر، ما شاهد این هستیم که انکارکنندگان گرمایش جهانی که درک علمی را رد کرده یا قویاً دستکم می‌گیرند، باعث به تأخیر افتادن فعالیت‌های جدی شده‌اند. بحث‌های درباره خیر عمومی بایستی توسط

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

دانش، مدارک علمی و تفکر عقلانی پیش برده شوند، نه توسط ایده‌ها، باورهای بی‌پایه و اساس، حرص و طمع یا تندروی‌های سیاسی. اما اشتباه نکنید، ارزش خود علم را به بحث نمی‌گذاریم. جهان به علم و پیشرفت‌هایی که به ما ارزانی می‌دارد، نیاز دارد. ما به عنوان انسان‌هایی خودآگاه، کنجکاو و مبتکر، فرصتی بی‌همتا برای استفاده از درک و دانش مان از حیات در راه تغییر جهان داریم. بر ماست که هر کاری که می‌توانیم، برای بهبود حیات انجام دهیم. نه تنها برای خانواده‌ها و جوامع محلی مان، بلکه برای همه نسل‌هایی که بعدها خواهند آمد، و برای اکوسیستم‌هایی که ما به گونه‌ای گسست‌ناپذیر جزئی از آن‌ها هستیم. دنیای زنده‌ای که در اطراف ماست، نه تنها در برابر ما انسان‌ها منبعی نامتناهی از شگفتی قرار می‌دهد، بلکه موجب حفظ هستی و زیست‌مندی ما نیز می‌شود.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

حیات چیست؟

این سؤال گسترده‌ای است. پاسخی که در مدرسه به ما دادند، چیزی شبیه به لیست ^{۳۸}MRS GREN بود که می‌گفت موجودات زنده دارای ویژگی‌های تحرک، تنفس، حساسیت، رشد، تولیدمثل، دفع و تغذیه می‌باشند. این خلاصه‌ای شسته و رفته از کارهایی است که موجودات زنده «انجام می‌دهند». اما توضیح قانع‌کننده‌ای درباره ماهیت حیات ارائه نمی‌دهد. من می‌خواهم رویکرد متفاوتی را به کار بگیرم. بر اساس گام‌هایی که برای درک پنج مفهوم بزرگ زیست‌شناختی برداشتیم، می‌خواهم مبانی و اصول اساسی‌ای را استخراج کنم که می‌توان از آن‌ها برای تعریف کردن حیات بهره برد. این مبانی بعداً به ما این اجازه را خواهند داد که به نحوه فعالیت حیات، چگونگی آغاز شدن آن، و ماهیت روابطی که کل حیات روی سیاره‌مان را به هم متصل می‌کند، نگاه عمیق‌تری بیندازیم.

البته افراد بسیاری تلاش کرده‌اند تا پاسخی به این سؤال بدهند. اروین شرودینگر در کتاب آینده‌نگرانه‌اش، حیات چیست؟ (۱۹۴۴) بر روی توارث و اطلاعات تأکید داشت. او «سندی رمزنگاری‌شده» (Code script) را برای حیات پیشنهاد داد که امروزه ما می‌دانیم در DNA مکتوب شده است. اما او کتابش را با ایده‌ای به پایان می‌برد که کمابیش به «حیات گرایی» نزدیک می‌شود: او بیان داشت که ما احتمالاً به نوع جدید و هنوز کشف نشده‌ای از قوانین فیزیک نیاز داریم.

چند سال بعد، جی بی اس هالدین زیست شناس رادیکال هندی-بریتانیایی کتاب دیگری باز هم به نام حیات چیست؟ نوشت که در آن خاطر نشان می‌کند که «من قصد ندارم جواب این سؤال را بدهم. در واقع من اصلاً شک دارم که ارائه جواب کاملی به آن امکان‌پذیر باشد.» او احساس زنده بودن را با دریافت‌مان از رنگ، درد یا تلاش مقایسه می‌کند، و می‌گوید: «ما نمی‌توانیم آن‌ها را از هیچ منظری توصیف کنیم.» من با نظر هالدین همدل هستم، اما این بیشتر مرا به یاد قاضی دیوان عالی ایالات متحده آمریکا پوتر استوارت می‌اندازد که در ۱۹۶۴ تلاش کرد تا این گونه تعریفی از هرزه‌نگاری ارائه بدهد: «وقتی آن را می‌بینم، متوجه‌اش می‌شوم».

اما هرمان مولر، متخصص ژنتیک برنده جایزه نوبل این قدرها مردد نبود. او در ۱۹۶۶ تعریفی «صاف و ساده» از موجود زنده ارائه می‌دهد و به اختصار می‌گوید که «موجود زنده توانایی تکامل یافتن دارد». مولر به درستی مفهوم بزرگ داروین، تکامل به وسیله انتخاب طبیعی را هسته تفکر درباره ماهیت حیات می‌داند. این سازوکاری است «و در واقع تنها سازوکاری است» که می‌تواند بدون پیش کشیدن چیزی، موجودات زنده‌ای متنوع، سازمان‌یافته و هدفمند را به وجود بیاورد.

توانایی تکامل یافتن از طریق انتخاب طبیعی، اولین اصلی است که می‌خواهم از آن

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

برای تعریف حیات بهره ببرم. همان طور که در بخش انتخاب طبیعی نشان دادم، این فرایند بر سه ویژگی اساسی استوار می باشد. موجودات زنده برای تکامل یافتن باید تکثیر شوند، باید دارای سیستمی توارثی باشند، و این سیستم توارثی باید تنوع پذیری از خود نشان بدهند. هر موجودی که این ویژگی ها را داشته باشد، می تواند تکامل پیدا کند و در آینده نیز تکامل پیدا خواهد کرد.

دومین اصل مورد نظرم، این است که اشکال حیات، موجودهایی مادی (دارای کالبد) و کران مند می باشند. آن ها جدای از محیط زیست شان قرار دارند، اما در ارتباط با آن می باشند. این اصل از مفهوم سلول گرفته شده است که ساده ترین چیزی است که آشکارا می تواند همه مشخصه های ویژه حیات را دربر بگیرد. این اصل، مادی (کالبدمند) بودن حیات را پیش می کشد که برنامه های کامپیوتری و نهادهای فرهنگی را از اینکه شکلی از حیات در نظر گرفته شوند باز می دارد، حتی اگر مشخص شود که آن ها می توانند تکامل پیدا کنند.

سومین اصل این است که موجودات زنده، ماشین هایی شیمیایی، مادی (دارای کالبد) و اطلاعاتی می باشند. آن ها متابولیسم های مختص به خودشان را به وجود می آورند و از آن برای حفظ خودشان، از رشد و تکثیر استفاده می کنند. این ماشین های زنده از طریق مدیریت اطلاعات هماهنگ و تنظیم می شوند، و موجب می شوند که موجودات زنده همچون یک کلیت هدف دار فعالیت کنند. این سه اصل، در کنار یکدیگر حیات را تعریف می کنند. هر موجودی را که بر طبق هر سه آن ها عمل کند، می توان زنده قلمداد کرد.

شیمی خارق العاده ای که پایه و اساس حیات را تشکیل می دهد، برای رسیدن به شناخت کاملی از نحوه فعالیت ماشین های زنده، بایستی پیچیده تر و پُر جزئیات تر باشد. ویژگی مرکزی این شیمی، این است که حول مولکول های بزرگ پلیمری شکل گرفته است که عمدتاً از اتم های به هم پیوسته کربن درست شده اند. DNA یکی از این مولکول هاست و هدف اصلی آن، این است که به مثابه منبعی بلند مدت و به شدت قابل اطمینان از اطلاعات عمل کند. در همین راستا، مارپیچ DNA از عناصر مهم اش که حاوی اطلاعات می باشند - بازهای نوکلئوتیدی - و در مرکز مارپیچ قرار دارند، محافظت کرده و آن ها را صحیح و سالم نگاه می دارد. به طوری که دانشمندی که DNA های باستانی را مطالعه می کنند، توانسته اند توالی DNA ی به دست آمده از موجوداتی را تعیین کنند که در زمان های بسیار دور زیسته و مرده اند، از قبیل DNA ی اسبی که حدوداً یک میلیون سال پیش در یخبندان یخ زده بوده است!

اما اطلاعات ذخیره شده در توالی DNA ی موجود در ژن ها نمی توانند پنهان و بلااستفاده باقی بمانند. آن ها باید فعالیت داشته باشند، و فعالیت های متابولیکی و

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

ساختارهایی فیزیکی که شالوده حیات هستند را به وجود بیاورند. این اطلاعات از منظر شیمیایی ثابت می‌باشند و DNA ی نسبتاً کسالت‌بار باید به مولکول‌هایی به لحاظ شیمیایی فعال ترجمه شوند: پروتئین‌ها.

پروتئین‌ها هم پلیمرهایی بر پایه کربن می‌باشند، اما برخلاف DNA، اغلب بخش‌های به لحاظ شیمیایی تغییرپذیر، پروتئین‌ها بر روی «سطح بیرونی» مولکول پلیمر واقع شده‌اند. این یعنی اینکه آن‌ها بر روی شکل سه‌بعدی پروتئین تأثیر گذاشته و در تعامل با دنیا نیز قرار دارند. این امر در نهایت به آن‌ها اجازه می‌دهد که بتوانند بسیاری از اعمال‌شان از قبیل ساختن، حفظ و تکثیر ماشین شیمیایی را انجام بدهند. و بی‌شبهت به DNA، اگر پروتئین‌ها آسیب ببینند یا از بین بروند، سلول به راحتی می‌تواند با ساختن مولکول‌های جدید پروتئین، آن‌ها را جایگزین کند.

من نمی‌توانم راه‌حلی گیراتر از این را متصور شوم: پیکربندی‌های متفاوت پلیمرهای خطی کربن هم ابزارهای ذخیره اطلاعات به لحاظ شیمیایی پایداری را به وجود می‌آورند و هم منجر به فعالیت‌های شیمیایی بسیار متنوعی می‌شوند. من این جنبه از شیمی حیات را هم به کلی ساده و هم کاملاً خارق‌العاده می‌دانم. حیات، شیمی پلیمر پیچیده را به گونه‌ای و بر اساس چنان اصل مجاب‌کننده‌ای در کنار اطلاعات خطی قرار می‌دهد که من گمان می‌کنم که این اصل نه تنها هسته حیات بر روی زمین می‌باشد، بلکه به نظر می‌رسد که برای حیاتی که احتمالاً در هر جای دیگری از این عالم پیدا شود هم مهم و ضروری باشد.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

اگرچه ما و همه اشکال شناخته شده حیات بر پایه پلیمرهای کربنی شکل گرفته‌ایم، اما نباید افکارمان در مورد حیات را تنها به تجربه‌مان از شیمی حیات بر روی زمین محدود کنیم. می‌توان حیاتی در جای دیگری از کیهان را متصور شد که به روش متفاوتی از کربن استفاده می‌کند، و یا حتی حیاتی را در نظر آورد که اصلاً بر پایه کربن شکل نگرفته باشد. برای مثال گراهام کایرنز-اسمیت، شیمیدان و زیست‌شناس مولکولی بریتانیایی در دهه ۱۹۶۰ شکلی اولیه‌ای از حیات را پیشنهاد کرد که بر پایه ذراتی از رس کریستالیزه شده‌ای شکل گرفته است که قابلیت شبیه‌سازی از روی خودش را دارد.

ذرات رس متصور شده توسط کایرنز-اسمیت از سیلیکون ساخته شده بودند، انتخابی محبوب برای نویسندگان علمی-تخیلی‌ای که به دنبال وجود اشکال حیات در جهان‌های دیگر می‌باشند. اتم‌های سیلیکون نیز مانند کربن می‌توانند تا چهار پیوند شیمیایی برقرار کنند و ما می‌دانیم که آن‌ها می‌توانند پلیمر نیز تشکیل بدهند: آن‌ها پایه و اساس درزگیرها، چسب‌ها، ظروف آشپزخانه و روان‌کننده‌های سیلیکونی می‌باشند. اصولاً، پلیمرهای سیلیکونی ممکن است آنقدر بزرگ و متنوع باشند که اطلاعات زیستی را نیز نگهداری کنند. اما علیرغم اینکه بر روی سیاره زمین، سیلیکون‌ها بسیار فراوان‌تر از کربن‌ها می‌باشند، حیات در اینجا بر پایه کربن شکل گرفته است. شاید دلیل این موضوع این باشد که در شرایط موجود در سطح سیاره‌مان، سیلیکون نمی‌تواند به آسانی کربن پیوندهای شیمیایی برقرار کند، و بنابراین نمی‌تواند تنوع شیمیایی کافی برای حیات را فراهم آورد. اما شرط عقل نیست که به یک چنین دلیلی، احتمال شکلی از حیات بر پایه سیلیکون و یا هر شیمی دیگری را به کلی رد کرد، زیرا ممکن است که آن‌ها در شرایط متفاوتی که شاید در جای دیگری از عالم یافت شوند، شکوفا شوند.

هنگام اندیشیدن درباره چیستی حیات، کشیدن خط مشخصی بین حیات و غیرحیات وسوسه‌برانگیز است. مشخص است که سلول‌ها زنده هستند، و همه موجودات ساخته شده از مجموعه‌ای از سلول‌ها نیز زنده می‌باشند. اما اشکال دیگر شبیه به حیاتی هم وجود دارند که وضعیتی بینابینی دارند.

ویروس‌ها مثالی عالی از این موجودات می‌باشند. این موجودات شیمیایی دارای ژنومی، بعضی‌های‌شان بر پایه DNA و بعضی دیگر بر پایه RNA، حاوی ژن‌های مورد نیاز برای ساختن پوششی پروتئینی می‌باشند که به دور هر ویروس کشیده شده است. ویروس‌ها می‌توانند از طریق انتخاب طبیعی تکامل پیدا کنند، بنابراین آن‌ها آزمون مولر را قبول می‌شوند، اما وقتی از این‌ها فراتر می‌رویم، همه چیز برای‌مان در هاله‌ای از ابهام فرو می‌رود. اساساً، ویروس‌ها به معنای دقیق کلمه نمی‌توانند خودشان را تکثیر

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

کنند. در عوض، تنها راه برای تکثیر شدن آن‌ها، آلوده کردن سلول‌های یک موجود زنده و دزدی از متابولیسم این سلول‌های آلوده می‌باشد.

بدین ترتیب که به هنگام سرماخوردگی، ویروس‌ها وارد سلول‌هایی می‌شود که بر روی سطح بینی کشیده شده‌اند و از آنزیم‌های سلول‌های بینی و مواد اولیه و خام آن‌ها برای تکثیر چندباره خودشان استفاده می‌کنند. سپس ویروس‌های زیادی که به وجود آمده‌اند، سلول‌های آلوده موجود در بینی را پاره کرده و هزاران ویروس سرماخوردگی آزاد می‌شوند. این ویروس‌های جدید سلول‌های همجوار را آلوده کرده و به جریان خون بدن راه پیدا می‌کنند تا سلول‌های همه قسمت‌های دیگر را نیز آلوده کنند. این استراتژی بسیار کارآمدی برای یک ویروس می‌باشد تا خودش را جاودانه کند. اما بدین معنی است که ویروس نمی‌تواند جدای از محیط درون سلولی میزبانش فعالیت کند. به عبارت دیگر، کاملاً به موجودات زنده دیگر وابسته است. تقریباً می‌توان گفت که ویروس‌ها بین «زنده بودن» - وقتی که در سلول‌های میزبان از نظر شیمیایی فعال بوده و تکثیر پیدا می‌کنند- و «غیرزنده بودن» - وقتی که ویروس‌ها در بیرون از سلول به لحاظ شیمیایی غیرفعال هستند - در نوسان می‌باشند.

بعضی از زیست‌شناسان این گونه استنتاج می‌کنند که وابستگی بی‌چون و چرای ویروس‌ها به دیگر موجودات زنده، بدین معنی است که آن‌ها حقیقتاً زنده نمی‌باشند. اما مهم است که به یاد داشته باشیم که تقریباً همه دیگر اشکال حیات از جمله خودمان نیز به موجودات زنده دیگر وابسته هستند.

بدن آشنای شما در واقع، اکوسیستمی تشکیل شده از ملغمه‌ای از سلول‌های انسانی و غیرانسانی می‌باشد. باید بر کمابیش سی میلیارد سلول خودمان، سلول‌های جوامع متنوعی از باکتری‌ها، آرکیا، قارچ‌ها و یوکاریوت‌های تک سلولی‌ای را نیز افزود که بر روی بدن ما و در درون‌مان زندگی می‌کنند. بسیاری از افراد، جانوران بزرگ‌تری از قبیل مجموعه‌ای از کرم‌های روده و مایت‌های ریز هشت‌پایی را با خود به اینور و آنور می‌برند که بر روی پوست‌مان زندگی کرده و در پیازهای موهای مان تخمگذاری می‌کنند. بسیاری از این همراهان محرم و غیرانسانی‌مان به شدت به سلول‌ها و بدن‌مان وابسته هستند، اما ما هم به بعضی از آن‌ها وابستگی داریم. برای مثال باکتری‌های موجود در روده‌های ما، آمینواسیدها یا ویتامین‌های خاصی را تولید می‌کنند که سلول‌های خودمان قادر نیستند که آن‌ها را برای خودشان بسازند.

و ما نباید فراموش کنیم که هر قاشق غذایی که می‌خوریم، توسط موجودات زنده دیگر تولید شده است. حتی بسیاری از میکروب‌هایی مانند مخمری که من آن را مطالعه کردم، به مولکول‌هایی وابسته هستند که معمولاً توسط دیگر موجودات زنده ساخته شده‌اند. این‌ها شامل مثلاً گلوکز و آمونیاکی می‌شوند که برای ساختن

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

مولکول‌های بزرگ حاوی کربن و نیتروژن لازم می‌باشند. به نظر می‌رسد که گیاهان استقلال نسبتاً بیشتری دارند. آن‌ها می‌توانند کربن دی‌اکسید موجود در هوا و آب درون زمین را استخراج کنند، و انرژی خورشید برای ساختن بسیاری از مولکول‌های پیچیده‌تر مورد نیازمان از قبیل پلیمرهای کربن استفاده کنند. اما حتی گیاهان هم به باکتری‌های موجود در درون یا در مجاورت ریشه‌های‌شان وابسته هستند تا آن‌ها نیتروژن را برای‌شان از جو دریافت کنند. بدون آن‌ها ما قادر به ساختن مولکول‌های بزرگ حیات نیستیم. در واقع تا جایی که ما اطلاع داریم، این کاری است که هیچ یوکاریوتی قادر به انجام دادنش نیست. این بدین معنی است که هیچ گونه منفرد شناخته شده‌ای از جانوران، گیاهان یا قارچ‌ها وجود ندارد که بتواند شیمی سلول خودش را تماماً از هیچ (اول) به وجود بیاورد.

بنابراین شاید مستقل‌ترین اشکال حیات - تنها آن‌هایی که تا حدودی می‌توان ادعا کرد که کاملاً مستقل و «آزاد» هستند - همان‌هایی باشند که در نگاه اول نسبتاً ابتدایی به نظر می‌رسند. این‌ها شامل موجودات زیر هستند: سیانوباکتری‌های (cyanobacteria) میکروسکوپی‌ای - اغلب جلبک‌های سبز-آبی نامیده می‌شوند - که هم می‌توانند فتوسنتز کنند و هم نیتروژن مورد نیازشان را استخراج کنند، و آرکیایی که همه انرژی و مواد شیمیایی اولیه مورد نیازشان را از دهانه‌های آتشفشانی هیدروترمال فعال موجود در اعماق دریا کسب می‌کنند. شگفت‌انگیز اینکه این موجودات نسبتاً ساده نه تنها برای مدتی بسیار بسیار طولانی‌تر از ما زنده مانده‌اند، بلکه بیشتر از ما به خودشان متکی هستند.

این وابستگی عمیق و متقابل اشکال مختلف حیات، در ساختار بنیادین سلول‌های ما هم منعکس شده است. میتوکندری‌ها که انرژی مورد نیاز برای بدن‌های ما را تولید می‌کنند، یک زمانی باکتری‌هایی کاملاً مستقل و مجزا بوده‌اند - باکتری‌هایی که استاد ساختن ATP شده بودند. طی اتفاقات سرنوشت‌سازی که در حدود ۱/۵ میلیارد سال پیش رخ دادند، بعضی از این باکتری‌ها در درون انواع دیگری از سلول‌ها مستقر شدند. با گذر زمان، سلول‌های میزبان به قدری به ATP ی تولید شده توسط میزبان‌های باکتریایی‌شان وابسته شدند که میتوکندری‌ها به عضو ثابتی تبدیل گردیدند. به وجود آمدن چنین رابطه بُرد-بُردی احتمالاً نقطه سرآغاز نسب (lineage) همه یوکاریوت‌ها می‌باشد. سلول‌های یوکاریوت‌ها در حضور منبع انرژی قابل اطمینانی می‌توانستند بزرگ‌تر و پیچیده‌تر شوند. این موضوع به نوبه خود موجب شتاب گرفتن تکامل تنوع پیچیده و پر شاخ و برگ از جانوران، گیاهان و قارچ‌های امروزی شد.

همه این‌ها نشان می‌دهند که طیف درجه‌بندی شده‌ای از موجودات زنده وجود دارند

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

که از ویروس‌های کاملاً وابسته تا سیانوباکتری‌ها، آرکئیا و گیاهان بسیار مستقل‌تر را شامل می‌شوند. من معتقد هستم که این اشکال مختلف کاملاً زنده هستند. زیرا اگرچه آن‌ها به درجاتی متفاوت به دیگر موجودات زنده یکسره وابسته هستند، اما همه این موجودات کالبدمند (مادی) خودگردان می‌توانند از طریق انتخاب طبیعی تکامل پیدا کنند.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

با یک چنین چشم‌انداز گسترده‌تری به روی حیات، دید غنی‌تری از جهان زنده هم خواهیم داشت. حیات روی زمین به اکوسیستم واحد و به شدت همبسته‌ای تعلق دارد که همه موجودات زنده را در خود جای داده است. این همبستگی بنیادین نه تنها از وابستگی متقابل و عمیق آن‌ها، بلکه از این واقعیت نشأت می‌گیرد که کل حیات به لحاظ ژنتیکی و از منظر ریشه‌های تکاملی مشترک‌شان مرتبط با یکدیگر می‌باشند. اکولوژیست‌ها برای مدت‌های طولانی از این اندیشه وابستگی و همبستگی عمیق متقابل دفاع کرده‌اند. این اندیشه، ریشه در تفکرات کاشف و طبیعی‌دان قرن نوزدهمی الکساندر فون هومبولت دارد که می‌گفت همه اشکال حیات در درون شبکه همه‌جانبه و فراگیری از ارتباطات، به یکدیگر مقید و وابسته شده‌اند. احتمالاً غیرمنتظره به نظر برسد که این همبستگی درونی، هسته و مرکز حیات باشد، اما باید دلیل خوبی برای متوقف کردن و عمیق‌تر اندیشیدن به تأثیرات فعالیت‌های انسان بر روی بقیه دنیای زنده در اختیار ما بگذارد.

این موجوداتی که بر روی شاخه‌های متعدد درخت حیات زندگی می‌کنند، به طور شگفت‌انگیزی متنوع می‌باشند. اما این تنوع، تحت الشعاع شباهت‌های بنیادین‌تر و بسیار بزرگ‌تری قرار گرفته است. به عنوان ماشین‌هایی شیمیایی، کالبدمند و اطلاعاتی، جزئیات کلی فعالیت‌های آن‌ها مشابه یکدیگر می‌باشند. برای مثال آن‌ها از مولکول‌های کوچک مشابهی، ATP به مثابه منبع انرژی‌شان استفاده می‌کنند، آن‌ها بر روابط بنیادین مشابهی بین DNA، RNA و پروتئین‌ها اتکا دارند، و آن‌ها از ریبوزوم‌ها برای ساختن پروتئین‌های‌شان بهره می‌برند. فرانسویس کریک بیان می‌دارد که جریان اطلاعات از DNA به RNA و سپس به پروتئین به قدری برای حیات ضروری و اساسی است که می‌توان آن را «اصل مرکزی» یا «عقیده اصلی» زیست‌شناسی مولکولی دانست. اگرچه از آن زمان تاکنون، برخی بر روی استثنای‌های اندکی هم دست گذاشته‌اند، اما نکته کلیدی کریک هنوز هم پابرجاست.

این تشابهات عمیق در شالوده‌های شیمیایی حیات منجر به نتیجه‌گیری مهمی می‌شود: حیاتی که امروزه بر روی زمین شاهدش هستیم، تنها یکبار آغاز گردیده است. اگر اشکال مختلف حیات چندین بار به صورت مستقل پدید آورده بودند و جان سالم به در برده بودند، اصلاً امکان نداشت که همه اعمال بنیادین نوادگان‌شان، تا این حد مشابه یکدیگر هدایت شوند.

اگر کل حیات، بخشی از درخت خانوادگی گسترده‌ای باشد، این درخت از چه نوع بذری سر بر آورده است؟ در یکجایی در زمان‌های بسیار بسیار دور، مواد شیمیایی در هم و برهم و بی‌جانی یکجوری خودشان را سامان داده‌اند تا اینکه اشکالی منظم‌تری به خود گرفتند که می‌توانستند خود را استمرار ببخشند، رونوشتی از خودشان بردارند

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

و سرانجام قابلیت همیشه مهم تکامل از طریق انتخاب طبیعی را به دست بیاورند. اما این داستان که در نهایت داستان ما نیز هست، واقعاً چگونه آغاز گردیده است؟

حیات اندکی بیش از $4/5$ میلیارد سال پیش، در سپیده دم منظومه شمسی شکل گرفت. برای حدود نیم میلیارد سال ابتدایی، سطح زمین آنقدر داغ و ناپایدار بود که اجازه ظهور حیاتی که ما می شناسیم را ندهد. کهن ترین فسیل شناسایی شده، مربوط به موجوداتی است که حوالی $3/5$ میلیارد سال پیش می زیسته اند. این فسیل، دریچه ای چند صد میلیون ساله را به روی حیات می گشاید، تا فرصتی برای سر برآوردن و تداوم پیدا کند. زمانی است آنقدر گسترده و طولانی که ذهن های مان به دشواری از پس هضم آن بر می آیند، اما تنها بخش کوچکی از کل تاریخچه حیات بر روی زمین می باشد. به نظر فرانسیس کریک بسیار نامحتمل به نظر می رسد که حیات توانسته باشد در اینجا بر روی زمین ظهور کرده باشد. به همین دلیل است که او توضیح می دهد که حیات بایستی در یک جایی در عالم ظهور کرده و در وضعیتی به طور کامل یا تا حدودی شکل یافته به اینجا رسیده باشد. اما این ها به جای اینکه پاسخی به این پرسش حیاتی و مهم بدهند که حیات چگونه از سرآغازهای پست و محقرتری سر برآورده است، از این کار طفره می روند. امروزه ما می توانیم روایتی باورپذیر، اگرچه هنوز غیرقابل تأیید از این داستان ارائه کنیم.

کهن ترین فسیل ها بیش تر به بعضی از باکتری های امروزی شباهت دارند. این موضوع نشان می دهد که حیات احتمالاً تا آن موقع کاملاً تثبیت شده بوده است، با سلول هایی دارای غشاء سلولی، یک سیستم توارث بر پایه DNA، و متابولیسمی بر پایه پروتئین ها.

اما کدامیک زودتر پدید آمدند؟ ژن هایی با محوریت DNA های دارای قابلیت همانندسازی، متابولیسم بر پایه پروتئین، یا غشاهای محصورکننده سلول؟ در موجودات زنده امروزی، بین این سیستم ها سیستمی با وابستگی متقابل را شکل گرفته است که فقط به مثابه یک کلیت به خوبی فعالیت می کنند. ژن های DNA محور تنها با کمک آنزیم های پروتئینی است که می توانند خودشان را همانندسازی کنند. اما آنزیم های پروتئینی تنها از روی دستورالعمل های حفظ شده در DNA می توانند ساخته بشوند. چگونه می توان یکی را بدون دیگری داشت؟ همچنین این واقعیت وجود دارد که هم ژن ها و هم متابولیسم به غشای بیرونی سلول وابسته می باشند، برای اینکه این غشاء مواد شیمیایی ضروری را متمرکز کند، انرژی را به چنگ آورد و از آن ها در برابر محیط اطراف محافظت کند. اما می دانیم که سلول های زنده امروزی از ژن و آنزیم ها برای ساختن غشاهای پیچیده شان استفاده می کنند. به سختی می توان تصور کرد که چگونه یکی از این سه گانه حیاتی و مهم ژن ها،

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

پروتئین‌ها و غشاها توانسته باشند به تنهایی پدید آمده باشند: اگر یک جزء را کنار بگذارید، کل سیستم به سرعت فرو می‌پاشد.

تشکیل غشاها احتمالاً آسان‌ترین بخش برای روایت ما باشد. می‌دانیم که مولکول‌های لیپید تشکیل‌دهنده غشاها می‌توانند در واکنش‌های شیمیایی‌ای ساخته شوند که به‌طور خود به خودی رخ می‌دهند، در این واکنش‌ها، مواد و شرایطی دخیل می‌باشند که تصور می‌شود که در روی سیاره زمین جوان حضور داشته‌اند. و وقتی که دانشمندان این لیپیدها را درون آب قرار می‌دهند، چیزی غیرمنتظره از آن‌ها سر می‌زند: آن‌ها به ناگهان گرد هم جمع می‌شوند و کره‌هایی توخالی و محصور در میان غشا ایجاد می‌کنند که تقریباً هم اندازه و هم شکل بعضی از سلول‌های باکتریایی هستند.

با پذیرش چنین سازوکاری برای تشکیل موجوداتی محصور در میان غشاها، این سؤال پیش می‌آید که ژن‌ها زودتر پدید آمدند یا پروتئین‌ها. بهترین راه‌حلی که دانشمندان برای این مسئله خاص شبیه به مسئله مرغ و تخم مرغ یافته‌اند، این است که بگویند هیچ کدام‌شان! در عوض، احتمالاً هم‌زاده شیمیایی DNA، یعنی RNA اول از همه پدید آمده است.

مولکول‌های RNA، مثل DNA می‌توانند اطلاعات را ذخیره کنند. همچنین می‌توان از روی آن‌ها رونوشت برداشت، و این فرایند رونوشت‌برداری اگر که با خطاهایی همراه شود خود منجر به تنوع می‌گردد. این بدین معنی است که RNA می‌تواند به مثابه مولکولی توارثی عمل کند که می‌تواند تکامل هم پیدا کند. این همان کاری است که امروزه ویروس‌های RNA دار انجام می‌دهند. دیگر ویژگی بسیار مهم مولکول‌های RNA، این است که آن‌ها می‌توانند به گونه‌ای تا شوند که ساختارهای سه بعدی پیچیده‌ای را به وجود بیاورند که می‌توانند شبیه به آنزیم‌ها عمل کنند. این آنزیم‌های RNA ای به پیچیدگی و چندکاره بودن آنزیم‌های پروتئینی نیستند، اما می‌توانند واکنش‌های شیمیایی مشخصی را کاتالیز کنند. برای مثال تعدادی از آنزیم‌های ضروری برای فعالیت ریبوزوم‌های امروزین، از RNA ساخته شده‌اند. اگر این دو ویژگی RNA را با هم ترکیب کنیم، احتمالاً آن‌ها بتوانند مولکول‌های RNA ای را به وجود بیاورند که هم به عنوان ژن و هم به عنوان آنزیم فعالیت کنند: سیستمی توارثی و متابولیسمی ابتدایی در یک بسته‌بندی مشترک. چیزی که می‌توان یک ماشین زنده خودکفا و RNA محور قلمداد کرد.

بعضی محققین تصور می‌کنند که این ماشین‌های RNA احتمالاً اولین بار در درون صخره‌های دورتادور حفره‌های هیدروترمال اعماق اقیانوس‌ها پدیدار شده‌اند. حفره‌های ریز درون صخره می‌توانند محیطی محفوظ و ایمن به وجود بیاورند،

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

فوران‌های آتشفشانی‌ای که به سطح پوسته زمین راه پیدا می‌کنند، جریان مداومی از انرژی و مواد خام شیمیایی را فراهم می‌کنند. در چنین شرایطی، نوکلئوتیدهای مورد نیاز برای ساختن پلیمرهای RNA می‌توانند از همان ابتدا، با گرد هم آمدن و مونتاژ مولکول‌های ساده‌تر ساخته شوند. در ابتدا، اتم‌های فلزی موجود در صخره می‌توانند به مثابه کاتالیزورهایی شیمیایی عمل کنند و به واکنش‌ها این امکان را بدهند که بدون کمک آنزیم‌های زیستی راه بیفتند. در نهایت، بعد از هزاران سال آزمون و خطا، این فرایند منجر به شکل‌گیری ماشین‌هایی از جنس RNA شد که زنده، خودتنظیم و خودهماندساز بودند و بعدها توانستند به شکل موجوداتی محصور در میان غشاء در بیایند. این اتفاقی شاخص در ظهور حیات بوده است: پدیدار شدن اولین سلول‌های واقعی.

داستانی که در بالا بازگو کردم محتمل و قابل پذیرش می‌باشد، اما لطفاً در نظر داشته باشید که حاصل گمانه‌زنی است. هیچ‌گونه ردی از اولین اشکال حیات وجود ندارد. بنابراین به دشواری می‌توان فهمید که در سپیده‌دم حیات چه اتفاقی رخ داده است، و یا حتی وضعیت خود زمین در بیش از ۳/۵ میلیارد سال پیش دقیقاً به چه شکلی بوده است.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

اما وقتی که اولین سلول‌ها با موفقیت به وجود آمدند، مراحل بعدی را راحت‌تر می‌توان متصور شد. در ابتدا، میکروب‌های تک سلولی با کلونی‌سازی تدریجی در دریا، روی زمین و در هوا، در سرتاسر دنیا پراکنده شده‌اند. سپس چیزی حدود دو میلیارد سال بعد، یوکاریوت‌های بزرگ‌تر و پیچیده‌تری - که برای مدت‌های بسیار طولانی هنوز تک سلولی بودند - به آن‌ها پیوستند. سر و کله موجودات یوکاریوتی چندسلولی مدت‌ها پس از آن، بعد از گذشت حدوداً یک میلیارد سال دیگر پیدا شد. این بدین معنی است که حیات چندسلولی برای چیزی حدود ۶۰۰ میلیون سال، تنها یک ششم از کل تاریخ حیات، در اینجا وجود داشته است. اما در این مدت، آن‌ها منجر به پدیدار شدن همه بزرگ‌ترین و چشمگیرترین اشکال حیاتی شده‌اند که در اطراف ما وجود دارند، جنگل‌های سر به فلک کشیده، کلونی‌های انبوه مورچه‌ها، شبکه عظیمی از قارچ‌های زیر زمین، گله‌های پستانداران در ساواناهای افریقا، و انسان‌های امروزین.

همه این‌ها در فرایند به شدت خلاقه تکامل از طریق انتخاب طبیعی به وجود آمده‌اند. اما وقتی که به توالی‌های حیات می‌نگریم، باید در نظر داشته باشیم که تغییر تکاملی تنها زمانی کارایی و تأثیر دارد که بعضی از افراد یک جمعیت، در بقا و تکثیر خود شکست بخورند. بنابراین اگرچه حیات به مثابه یک کل ثابت کرده است که مقاوم، ماندگار و به شدت سازش‌پذیر می‌باشد، اما اشکال حیات به صورت فرد به فرد، عمری محدود دارند و به هنگام تغییرات محیط زیست، توانایی‌شان برای سازگاری نیز محدود است. آنجا که انتخاب طبیعی دست به کار می‌شود، نظم سابق به هم می‌ریزد، و اگر وارثه‌های شایسته‌تری در جمعیت وجود داشته باشد، راه را برای نظمی جدید باز می‌کند. به نظر می‌رسد که تنها از طریق مرگ است که حیات می‌تواند تداوم داشته باشد.

فرایند بی‌امان و غربالگر انتخاب طبیعی چیزهای غیرمنتظره‌ای را پدید آورده است. یکی از خارق‌العاده‌ترین چیزها، مغز آدمی است. تا جایی که می‌دانیم، هیچ موجود زنده‌ای آگاهی‌ای شبیه به ما نسبت به هستی‌اش ندارد. ذهن‌های خودآگاه ما می‌بایستی در این مسیر طوری تکامل یافته باشند که به هنگام تغییر دنیاها، مان، حداقل تا حدودی گریزگاهی برای تنظیم کردن رفتارهای مان در اختیارمان بگذارند. ما برخلاف پروانه‌ها و شاید همه دیگر موجودات شناخته شده، می‌توانیم اهدافی که ما را برمی‌انگیزند را آگاهانه انتخاب کنیم و راجع به آن‌ها تعمق نماییم.

مغز بر اساس همان شیمی و بدن‌مندی همه دیگر سیستم‌های زنده ساخته شده است. اما به گونه‌ای، از طریق همان مولکول‌های نسبتاً ساده و نیروهای به خوبی شناخته شده، توانایی‌های مان برای فکر کردن، بحث کردن، تخیل کردن، خلق

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

کردن و رنج کشیدن شکل گرفته‌اند. نحوه پدیدار شدن همه این‌ها از میان شیمی تر مغزهای مان، مجموعه فوق‌العاده چالش برانگیزی از سوالات را در برابرمان قرار می‌دهند.

می‌دانیم که سیستم‌های عصبی مان مبتنی بر کنش و واکنش‌های به شدت پیچیده بین میلیاردها سلول عصبی یا نورونی می‌باشند که میلیاردها رابط یا سیناپس را در بین خودشان به وجود آورده‌اند. همه این شبکه‌های به شدت تو در تو و پیوسته در حال تغییر متشکل از نورون‌های در تعامل به یکدیگر، مسیرهای پیامرسانی پدید آورده‌اند که جریان‌هایی قوی از اطلاعات الکتریکی را مخابره و پردازش می‌کنند.

همان‌طور که اغلب در زیست‌شناسی معمول است، ما بیش‌تر این چیزها را از مطالعه موجودات ساده‌تری موسوم به «مدل» مانند کرم‌ها، مگس‌ها و موش‌ها یاد می‌گیریم. ما درباره روش‌هایی که این سیستم عصبی از طریق آن‌ها اطلاعات محیط اطراف‌شان را با کمک اندام‌های حسی‌شان جمع‌آوری می‌کنند، چیزهای زیادی می‌دانیم. محققان بر روی ردیابی حرکات سیگنال‌های بصری، صوتی، لامسه، بویایی و چشایی از طریق سیستم عصبی، و همچنین بر روی نقشه‌برداری از بعضی از رابط‌های نورونی که خاطرات را شکل می‌دهند و واکنش‌های احساسی را به وجود می‌آورند و موجب رفتارهای خروجی مانند منقبض شدن ماهیچه‌ها می‌شوند، دست به مطالعات مفصلی زده‌اند.

همه این‌ها، کارهای مهمی هستند. اما این تازه آغاز ماجرا است. ما به زحمت توانسته‌ایم به این موضوع که چگونه کنش و واکنش بین میلیاردها نورون خاص می‌تواند منجر به تولید افکار انتزاعی، خودآگاهی و اراده ظاهراً آزاد ما بشود، تنها ناخنکی بزنیم. یافتن پاسخ‌های قانع‌کننده به این سوالات احتمالاً در قرن بیست و یکم و شاید بعد از آن، ما را به خود مشغول خواهد ساخت. و من فکر نمی‌کنم که بتوانیم تنها با اتکا بر ابزارهای علوم طبیعی معمول به آن‌ها دست پیدا کنیم. ما مجبور خواهیم بود که علاوه بر آن، آغوش مان را بیش از معمول به روی دیدگاه‌هایی متعلق به روانشناسی، فلسفه و علوم انسانی باز کنیم. علوم کامپیوتر نیز می‌تواند یاری‌رسان ما باشد. قدرتمندترین برنامه‌های کامپیوتری «هوش مصنوعی» در دنیای امروز ساخته شده‌اند تا به ساده‌ترین شکل ممکن، از روش مدیریت اطلاعات توسط شبکه‌های عصبی حیات تقلید کنند.

این سیستم‌های کامپیوتری روز به روز دست به اجرای شاهکارهای محاسباتی به شدت متأثرکننده‌ای می‌زنند. اما آن‌ها نمی‌توانند حتی چیزهایی کمابیش شبیه به افکار انتزاعی یا خیال‌برانگیز، خودآگاهی یا ضمیر هشیار را اجرا کنند. حتی مشخص کردن منظور ما از این ویژگی‌های روانی هم بسیار دشوار است. در این جا، یک

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

رمان نویس، یک شاعر یا یک هنرمند می‌توانند با مشارکت در شالوده افکار خلاقه، با توضیح شفاف‌تر حالات احساسی، و یا با تحقیق درباره معنای واقعی «بودن»، به ما یاری برسانند. اگر ما چیزی بیش از یک زبان مشترک یا حداقل، ارتباط فکری بزرگ‌تری بین علوم انسانی و علوم طبیعی داشته باشیم تا بتوانیم راجع به این پدیده‌ها بحث کنیم، شاید بهتر بتوانیم درک کنیم که چرا و چگونه تکامل به ما این اجازه را داده است که به مثابه سیستم‌هایی شیمیایی و اطلاعاتی، طوری تکامل پیدا کنیم که از هستی خودمان آگاهی داشته باشیم. بایستی همه قوای خلاقه و تخیل خود را به کار بگیریم تا ببینیم که قوای خلاقه و تخیل چگونه امکان بروز پیدا می‌کنند. کائنات به طور غیرقابل تصویری پهناور است. طبق قوانین احتمالات، به نظر بسیار نامحتمل می‌آید که طی این زمان و مکان گسترده، حیات - فکر حیات ذی‌شعور را از سرتان بیرون کنید- فقط و فقط یک بار، درست در همین جا بر روی زمین شکوفا شده باشد.^{۳۹} اینکه ما با این اشکال بیگانه حیات روبرو شویم یا خیر، خود مقوله دیگری است. اما اگر با آن‌ها مواجه شویم، من مطمئن هستم که آن‌ها نیز همچون ما، ماشین‌های شیمیایی و فیزیکی خودکفایی خواهند بود که براساس پلیمرهای اطلاعاتی رمزگذاری شده‌ای ساخته شده‌اند که طی تکامل از طریق انتخاب طبیعی به وجود آمده‌اند.

سیاره ما تنها گوشه از کائنات می‌باشد که ما مطمئن هستیم که در آن حیات وجود دارد. حیات که ما بخشی از آن بر روی زمین هستیم، بسیار خارق‌العاده می‌باشد. اگرچه حیات پیوسته ما را شگفت‌زده می‌کند، اما علیرغم تنوع سرگیجه‌آورش، دانشمندان در تلاش هستند تا معنایی برای آن پیدا کنند، و این فهم، نقاط اشتراک بنیادینی با فرهنگ و تمدن ما دارد. درک روزافزون ما از چیستی حیات، قابلیت زیادی برای پیشرفت انسان‌های زیادی دارد. اما این دانش حتی فراتر از این‌ها هم می‌رود. زیست‌شناسی به ما نشان می‌دهد که همه موجودات زنده‌ای که ما می‌شناسیم‌شان، با هم در ارتباط بوده و روابط تنگاتنگی با یکدیگر دارند. ما از طریق همبستگی عمیقی، به همه دیگر اشکال حیات اتصال پیدا کرده‌ایم: به سوسک‌هایی که روی زمین می‌خزند، به باکتری‌های عفونی، مخمرهای تخمیرکننده، گوریل‌های کنجکاو کوهستان و پروانه زردی که ما را طی سفرمان در طول این کتاب همراهی کرده‌اند، و همچنین به همه دیگر اعضای زیست کره‌مان. همه این گونه‌ها، بازمانده‌های بزرگ حیات و واپسین نوادگان یگانه نسب خانوادگی بسیار گسترده‌ای هستند که از خلال زنجیره‌ای لاینقطع از تقسیمات سلولی، ما را به کرانه‌های دور زمان ژرف بر می‌گردانند.

تا جایی که می‌دانیم، ما انسان‌ها تنها اشکالی از حیات هستیم که می‌توانیم متوجه

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

این ارتباط عمیق بشویم و دربارهٔ معنای احتمالی آن تأمل کنیم. این امروزیفه ویژه‌ای را در قبال حیاتِ روی این سیاره که متشکل از خویشاوندان ما، بعضی نزدیک و برخی دورتر، بر دوش ما می‌گذارد. ما باید به آن اهمیت بدهیم، و باید از آن مراقبت کنیم. و برای انجام این مهم، باید آن را بفهمیم.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...



پل نرس، متخصص ژنتیک و زیست‌شناس سلولی است که بر روی میزان کنترل‌پذیری تکثیر سلول‌ها تحقیقات انجام داده است. این فرایند، پایه و اساس رشد در همه موجودات زنده می‌باشد. او سرپرست انستیتوی فرانسیس کریک در لندن است. از دیگر منصب‌های وی، می‌توان به مدیرعاملی تحقیقات سرطان در بریتانیا، ریاست دانشگاه راکفلر و ریاست انجمن سلطنتی اشاره داشت.

نرس در سال ۲۰۰۱ به جایزه نوبل فیزیولوژی یا پزشکی نائل شد، و همچنین جایزه آلبرت لاسکر، و مدال‌های رویال و کاپلی را از انجمن سلطنتی دریافت کرد.

او در ۱۹۹۹ به لقب شوالیه دست پیدا کرد، و نشان لژیون دونور از فرانسه و نشان خورشید طالع از ژاپن را به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۸ دریافت کرد. او برای پانزده سال در انجمن علم و تکنولوژی که به نخست وزیر و کابینه‌اش مشاوره می‌دهد، فعالیت داشت. و در حال حاضر مشاور ارشد علمی کمیسیون اروپا و عضو هیئت امنای موزه بریتانیا است.

پل با گلایدر و هواپیماهای قدیمی پرواز انجام می‌دهد، و می‌تواند در اراضی نامتعارف و دشت‌ها پرواز و فرود بیاید. او عاشق تئاتر، موسیقی کلاسیک، تپهنوردی، گالری و موزه گردی، و دویدن با سرعت بسیار کم است.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

«حیات چیست؟»، اولین کتاب پل نرس است.

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

یادداشت‌ها

[←۱]

Erwin Schrödinger (۱۸۸۷-۱۹۶۱): از چهره‌های مهم در فیزیک کوانتوم.

[←۲]

Animalcules: از لغتی لاتین به معنی حیوان کوچولو گرفته شده است.

[←۳]

Domain: بالاترین سطح در نظام طبقه‌بندی اشکال حیات

[←۴]

cell line: مجموعه‌ای از سلول‌های به طور دائمی کشت داده شده هستند که بسته به محیط و فضای مناسب به طور نامحدود تکثیر می‌شود.

[←۵]

Degeneration (تحلیل رفتن): کاهش سطح فعالیت یک بافت

[←۶]

بستری که عموماً برای کشت موجودات ذره‌بینی بی‌آزار استفاده می‌شود

[←۷]

Archaea یا باستانیان

[←۸]

علم مطالعهٔ دنیای غیرزنده در مقابل دنیای آلی. علوم فیزیکی از چهار حوزهٔ شیمی، فیزیک، نجوم و زمین‌شناسی تشکیل شده است.

[←۹]

سلولی که تقسیم می‌شود را سلول مادری، و سلول‌های حاصل از تقسیم را سلول‌های دختری می‌نامند.

[←۱۰]

Roundworm (نماتد)

[←۱۱]

Strain، واریته‌های ژنتیکی در درون یک گونهٔ زیست‌شناختی

[←۱۲]

در اشاره به رمان دنیای قشنگ نو، از آلدوس هاکسلی که در آن حکومت، افراد جامعه را به صورت مصنوعی و با مهندسی ژنتیکی به وجود می‌آورد.

[←۱۳]

Escherichia coli، یک باکتری عمدتاً بی‌آزار، ساکن در رودهٔ جانوران خونگرم.

[←۱۴]

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

Genetically modified، اصلاح نژادشده.

[←۱۵]

fission yeast (*Schizosaccharomyces pombe*)

[←۱۶]

William Paley (۱۷۴۳-۱۸۰۵)، کشیش انگلیکن و فیلسوف فایده گرا.

[←۱۷]

Great apes یا Hominidae، خانواده‌ای از نخستیان می‌باشند که شامل چهار جنس شامپانزه‌ها، گوریل‌ها، انسان‌ها و اورانگوتان‌ها می‌شوند.

[←۱۸]

Meiosis، نوعی از تقسیم سلولی که در آن، سلول‌های دختری نصف کروموزوم‌هایشان را از سلول مادری دریافت می‌کند و نیمی دیگر را از والد پدری دریافت می‌کند. این فرایند منجر به تولید چهار سلول جنسی می‌شود.

[←۱۹]

معمولاً به گوریل‌های نر بالغ اطلاق می‌شود.

[←۲۰]

Biosphere: مجموع همه بخش‌هایی که حیات به روی آن‌ها وجود دارد؛ همه اکوسیستم‌های موجود بر روی زمین

[←۲۱]

مجموعه بزرگی از قطعات DNA که حاوی بخشی یا همه ژنوم یک فرد می‌باشند.

[←۲۲]

هر اتم هیدروژن، دارای یک الکترون و یک پروتون می‌باشد. در تنفس سلولی، با جدا کردن الکترون آن، در واقع فقط یک پروتون منفرد یا اتم هیدروژن بدون الکترون داریم.

[←۲۳]

Sir Timothy Hunt (۱۹۴۳-)، بیوشیمیدان بریتانیایی که در سال ۲۰۰۱ به همراه نویسنده همین کتاب و هارتول، موفق به کسب نوبل گردید. او سیکلین را در اوایل دهه ۸۰ کشف کرد.

[←۲۴]

James Watt (۱۷۳۶-۱۸۱۹)، مخترع ماشین بخار.

[←۲۵]

در سیستم ایمنی اکتسابی که ثابت ماندن تعداد و تنوع مجموعه لنفوسیتی علی‌رغم

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

تولید لنفوسیت‌های تازه و گسترش دسته‌ها در پاسخ به آنتی‌ژن‌های تحریک‌کننده گفته می‌شود. این پدیده توسط چندین مسیر تنظیم‌کننده مرگ و غیر فعال کردن لنفوسیت‌ها اجرا می‌شود. [به نقل از فرهنگ ایمنولوژی، ترجمه ایرج دیهیمی، انتشارات مازیار]. ناشر

[←۲۶]

Gen expression، فرایندی که طی آن، از اطلاعات رمزگذاری شده در یک ژن، برای تنظیم مونتاژ مولکول‌های پروتئین استفاده می‌شود.

[←۲۷]

این کد مورس به عنوان پیامی اضطراری در سطحی بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این کد به دلیل سادگی، برای حفظ کردن ترتیب نقطه‌ها و خطوط تیره استفاده می‌کنند.

[←۲۸]

Alan Turing (۱۹۵۴-۱۹۱۲)، ماشین‌انگما، دستگاهی برای رمزگذاری اطلاعات نظامی و اقتصادی بود که به طور گسترده توسط نازی‌ها در جنگ جهانی دوم مورد استفاده قرار می‌گرفت. تورینگ نقشی حیاتی در شکستن پیام‌های رمزگذاری شده داشت که به متفقین در شکست دادن متحدین در چندین جبهه کمک زیادی کرد.

[←۲۹]

Occam's razor، این روش حل مسئله را عمدتاً به ویلیام اهل اوکام، منطق‌دان و فیلسوف انگلیسی نسبت می‌دهند

[←۳۰]

در این سیستم بیمه، مبلغ بیمه‌ای که بیمه‌گذار باید پرداخت کند، براساس میزان ریسک یا خطرناک بودن وضعیت یا فعالیت آن شخص حقیقی یا حقوقی تعیین می‌گردد. بنابراین هر چه شخص در معرض خطر بیشتری یا آسیب‌پذیرتر باشد، باید مبلغ بیشتری به بیمه‌گر پرداخت کند.

[←۳۱]

genetic profiling، بخش کوچکی از ژنوم هر فردی که فقط مختص به خودش می‌باشد. با قطعه قطعه کردن نمونه‌ای از آن، می‌توان نمایه ژنتیکی منحصر به فردی برای افراد درست کرد.

[←۳۲]

General intelligence، مفهومی در تحقیقات روان‌سنجی می‌باشد که به توانایی ذهنی فرد برای انجام وظایف در سطح شناختی اشاره دارد.

[←۳۳]

حیات چیست؟ پنج مفهوم بزرگ در علم زیست شناس...

کُدشکن، والتر ایزاکسون، ترجمه رضا محمد حسن، چاپ اول، انتشارات مازیار، ۱۴۰۱.
[←۳۴]

Degenerative disease، نوعی از مشکلات پزشکی که منجر به تحلیل رفتن تدریجی یک اندام یا بافت می گردد، بیماری های تحلیل برنده.
[←۳۵]

Peat bog، نوعی از تالاب که محل تجمع تورب های حاصل از تجزیه ناقص گیاهان و مواد آلی می باشند. آن ها مهم ترین محل های ذخیره کربن می باشند.
[←۳۶]

germ line:، سلسله ای از سلول ها که در نهایت، سلول های جنسی را در بزرگسالی به وجود می آورند.
[←۳۷]

Trofim Lysenko، متخصص کشاورزی و زیست شناسی اهل روسیه که طرفدار جدی لامارک بود، در حالی که ژنتیک مندلی را رد می کرد.
[←۳۸]

حرف رمز حروف اول ویژگی های ضروری موجودات زنده که در ادامه جمله آمده اند.
[←۳۹]

فرازمینی ها، آوی لوئب، ترجمه جمیل آریایی، چاپ اول، انتشارات مازیار، ۱۴۰۰