سرآغاز حیات

سرشناسه: دیمر، دیوید دبلیو.، ۱۹۳۹ ـ م. -Deamer, David W., 1939
عنوان و نام پدیدآور: سرآغاز حیات: آنچه همه باید بدانیم/دیوید ویلسون دیمر؛ ترجمهٔ اقبال جاسمی.
مشخصات نشر: تهران: ققنوس، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری: ۱۶۸ ص.: مصور (بخشی رنگی)
شابک: ۹۷۸_۶۲۲_۰۴_۰۴۹۷_۲
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
یادداشت: عنوان اصلی: .Origin of life: what everyone needs to know, [2020]
عنوان دیگر: آنچه همه باید بدانیم.
موضوع: زندگی ــ منشأ
موضوع: Life -- Origin
شناسهٔ افزوده: جاسمی، اقبال، ۱۳۶۵ ـ، مترجم
رده‌بندی کنگره: QH ۳۲۵
رده‌بندی دیویی: ۵۷۶/۸
شمارهٔ کتاب‌شناسی ملی: ۹۲۸۰۷۱۱

سر آغاز حیات

آنچه همه باید بدانیم

دیوید ویلسون دیمر

ترجمهٔ اقبال جاسمی

این کتاب ترجمه‌ای است از:

Origin of Life
What Everyone Needs to Know
David W. Deamer
Oxford University Press, 2020

انتشارات ققنوس
تهران، خیابان انقلاب، خیابان شهدای ژاندارمری،
شمارهٔ ۱۱۱، تلفن ۴۰ ۸۶ ۴۰ ۶۶
ویرایش، آماده‌سازی و امور فنی:
تحریریهٔ انتشارات ققنوس

***

دیوید ویلسون دیمر
سرآغاز حیات
آنچه همه باید بدانیم
ترجمهٔ اقبال جاسمی
چاپ اول
۷۷۰ نسخه
زمستان ۱۴۰۲
چاپ سروش
حق چاپ محفوظ است
شابک: ۲-۰۴۹۷-۰۴-۶۲۲-۹۷۸
ISBN: 978-622-04-0497-2
www.qoqnoos.ir
Printed in Iran

فهرست

مقدمهٔ مترجم ۹
مقدمهٔ نویسنده ۱۳

۱. چگونه اجزای یک سیارهٔ قابل سکونت را سرهم‌بندی کنیم ۲۳
عناصر حیات روی زمین میلیاردها سال قدمت دارند ۲۳
اتم‌هایی سنگین‌تر از هیدروژن در ستارگان تولید می‌شوند ۲۶
همهٔ اشکال حیات از شش عنصر زیست‌زا تشکیل می‌شوند ۲۸
غبار بین‌ستاره‌ای بذرهای اتمی و مولکولی حیات را برای منظومهٔ شمسی فراهم کرد ۳۰
ابرهای مولکولی زادگاه ستارگان و سیارات‌اند ۳۱
منظومهٔ شمسی از دیسکی از غبار و گاز که به دور خورشید می‌چرخید ساخته شد ۳۳
عناصر رادیواکتیو هستهٔ زمین را به حالت مذاب نگه می‌دارند ۳۵
واپاشی رادیواکتیو سن زمین را به ما می‌گوید ۳۷
حیات نمی‌توانست آغاز شود تا زمانی که اقیانوس به وجود آمد ۴۰
سیارات کوچک و دنباله‌دارها آب موجود در زمین را تأمین کردند ۴۲

۲. از غیرزنده تا تقریباً زنده ۴۵
طرح‌های مختلف برای چگونگی آغاز حیات روی زمین ۴۶
تمام اشکال حیات از نوع سلولی است و احتمالاً نخستین اشکال حیات نیز همین‌طور بوده است ۵۵
حیات به آب مایع نیاز دارد ۵۹
حیات احتمالاً در آب‌های شیرین جزایر آتشفشانی آغاز شد ۶۱

حیات به مونومرها نیاز دارد ۶۲
حیات از پلیمرها تشکیل شده است ۶۵
ترکیبات آلی برای پشتیبانی از سرآغاز حیات در دسترس بودند ۶۸
ترکیبات آلی برای واکنش دادن باید تغلیظ شوند ۷۰
انرژی و آغاز حیات ۷۲
خودگردهمایی و گنجانده شدن [ترکیبات درون محفظه‌های غشایی]
اولین گام‌ها به سوی حیات بوده است ۷۶
سرآغاز حیات به یک منبع انرژی نیاز داشت ۷۸
کاتالیزورها برای حیات اولیه و همچنین تمام اَشکال حیات امروزی
ضروری بوده و هستند ۸۲
شرایط چرخه‌ای برای شروع حیات ضروری بود ۸۳
برخی از واکنش‌های شیمیایی پیچیدگی مولکولی را افزایش می‌دهند،
برخی دیگر مولکول‌های پیچیده را تجزیه می‌کنند ۸۶
حیات به چرخه‌های انتقال اطلاعات بین اسیدهای نوکلئیک و
پروتئین‌ها بستگی دارد ۸۷
قدیمی‌ترین شاهد فسیلی شناخته‌شده از حیات حدود ۳/۵ میلیارد
سال قدمت دارد ۸۹

۳. آنچه هنوز کشف نکرده‌ایم ۹۵
آیا جهان RNA واقعی است یا فقط حدس و گمان است؟ ۹۵
سوخت‌وساز چیست و چگونه آغاز شد؟ ۹۸
اولین کاتالیزورها چه بودند؟ ۹۹
حلقه‌های بازخوردی تنظیمی چگونه شروع به کار کردند؟ ۱۰۲
حیات چگونه هموکایرال شد؟ ۱۰۵
فتوسنتز چیست و چگونه شروع شد؟ ۱۰۸
اولین ریبوزوم چه بود؟ ۱۱۱
کد ژنتیکی چگونه پدیدار شد؟ ۱۱۲
ویروس‌ها از کجا آمده‌اند؟ ۱۱۵
چگونه سیستم‌های پلیمری گنجانده‌شده در غشا شروع به تکامل کردند؟ ۱۱۶.
پروژنوت و LUCA (آخرین جد مشترک جهانی) چیست؟ ۱۱۹
چگونه حیات پروکاریوتی به حیات یوکاریوتی تبدیل شد؟ ۱۲۲
آیا درخت حیات وجود دارد؟ ۱۲۵

آیا می‌توانیم حیات را در آزمایشگاه تولید کنیم؟..... ۱۲۷
آیا حیات امروزی می‌تواند دوباره روی زمین آغاز شود؟..... ۱۳۲
آیا شرایط سیارات دیگر می‌تواند امکان شروع حیات را فراهم کند؟..... ۱۳۳
آیا روزی خواهیم فهمید که حیات چگونه آغاز شده است؟..... ۱۳۶

برای مطالعهٔ بیشتر..... ۱۵۵
واژه‌نامه..... ۱۵۹
نمایه..... ۱۶۶

مقدمهٔ مترجم

حسرتی که زندگی در شهر به دل من و احتمالاً بسیاری از شما گذاشته دیدن آسمان پرستارهٔ شب است. از همان ابتدا که در آبمکان،[1] روستای پدری‌ام، به آسمان شب خیره می‌شدم، شگفتی و البته هیجان وجودم را فرامی‌گرفت. سؤالات انبوهی در ذهنم رژه می‌رفتند و شاید همین پرسش‌ها در ناخودآگاهم مرا سوق داد که وارد رشتهٔ زیست‌شناسی شوم. ما از کجا آمده‌ایم و در کجای این پهنهٔ گیتی قرار گرفته‌ایم؟ آیا لزومی دارد که جهان این‌قدر پهناور باشد؟ آیا ما تنها موجودات زنده در کیهان هستیم؟ اگر دیگرانی هم هستند پس چرا هیچ اثری از آن‌ها نمی‌بینیم؟ بشر تاکنون نتوانسته به این سؤالات که شاید اصیل‌ترین سؤالات باشند پاسخ قطعی بدهد، ولی دلایل متقنی وجود دارد که حیات پیشینه‌ای دارد و رازهای مربوط به سرآغاز حیات را باید دانه‌دانه از میان آن کشف کنیم. با وجود پیشرفت‌های زیاد بشر در دانش فضایی، هنوز در ای۱ن زمینه به مانند کودکی نوپا هستیم. پس قدم‌های اول را باید محکم برداریم: نخست شناسایی تاریخچهٔ منظومهٔ خورشیدی و زمین، و سپس طرح سناریوهای احتمالی در پیدایش حیات.

---

۱. روستایی در دهلران از توابع استان ایلام.

دانشمندان در مطالعهٔ سرآغاز حیات به دنبال مناطقی از زمین فعلی هستند که مشابه زمین اولیه در حدود چهارمیلیارد سال پیش است. مکان‌هایی در مریخ وجود دارد که ممکن است در گذشته از حیات برخوردار بوده باشند، یا همین الآن ممکن است در برخی نواحی جهان حیات به نحوی آغاز شده یا در حال شکوفایی باشد. شرایط محیطی در زمین اولیه بسیار خشن بود و برخوردهای پی‌درپی شهاب‌سنگ‌ها و دنباله‌دارها، فوران‌های عظیم آتشفشانی و تغییرات شدید دمایی امری کاملاً عادی بود. بنابراین اشکال اولیهٔ حیات ممکن است به نحوی از این وضعیت سخت جان سالم به در برده باشند. این مناطق معمولاً در محیط‌هایی هستند که ما در حال حاضر آن‌ها را تحت نظر داریم: نواحی زمین‌گرمایی در زیر زمین یا سطح آن، اعماق دریا، در شوری و اسیدیتهٔ بالا و پایین، در یخ، یا در مکان‌های خشک و بی‌آب. بنابراین موجودات زنده برای ادامهٔ حیات در این محیط‌های خشن به پروتئین‌ها و آنزیم‌های قوی نیاز داشتند تا از آن‌ها در مقابل این شرایط محافظت کند.

دانش اخترزیست‌شناسی به موضوع حیات به مثابهٔ پدیده‌ای سیاره‌ای می‌پردازد، یعنی نحوهٔ تعامل زیست‌شناسی با اجسام موجود در فضا. این دانش به سرآغاز حیات، تکامل آن، توزیع و آیندهٔ حیات روی زمین و در جهان و نیز برخی سؤالات اساسی می‌پردازد که در ذهن من و شما شکل گرفته‌اند. ممکن است زمین خودمان سرچشمهٔ حیات امروزی بوده باشد. یا این‌که در جای دیگری از کیهان که شباهت زیادی به زمین دارد به طریقی آغاز شده باشد. احتمال دیگر آن است که آن دسته از مولکول‌های آلی که پتانسیل حیات دارند (همان مواد شیمیایی پیشازیستی) از فضا به زمین آمده باشند و سپس به مولکول‌های پیچیده با قابلیت حمل اطلاعات و تکثیر خود تبدیل شده باشند که مشخصهٔ مولکول‌های زیستی است. یا ممکن است

نوعی حیات کاملاً متفاوت با حیات ما همین الآن در جای دیگری از جهان شکل گرفته باشد. اگر زمانی چنین چیزی پیدا شود لازم است دانش زیست‌شناسی جدیدی را که فراتر از درک کنونی ما از قابلیت‌های اشکال حیاتی است تدوین کنیم.

سلول‌ها مشخصهٔ اصلی اکثر موجودات زنده هستند و تمرکز اصلی اخترزیست‌شناسی نیز بر منشأ، تکامل و ویژگی‌های سلول‌هاست. مواد شیمیایی آلی که قادر به تشکیل ساختارهای شبه‌سلولی هستند در فضا و نیز در سنگ‌های فضایی‌ای که از منابع فرازمینی به زمین آمده‌اند شناسایی شده‌اند. رویکردهای مشاهده‌ای، تجربی و نظری برای مطالعهٔ تشکیل سلول و غشا در این کتاب ارائه شده است.

از آن‌جا که تصور می‌شود ریزجانداران مورد مطالعهٔ اخترزیست‌شناسان شباهت زیادی به اشکال اولیهٔ حیات دارند، توالی‌یابی ژنوم آن‌ها تاریخچهٔ تکامل میکروبی و ویروسی را به میزان زیادی به گذشته‌های دورتر راند. این روش‌ها ممکن است به درک مسیرهای تکاملی آینده که مرتبط با تغییرات محیطی است نیز کمک کنند. همچنین جالب توجه است که این احتمال (هرچند اندک) را نیز در نظر بگیریم که ژنوم اجداد باستانیِ موجودات روی زمین از منبعی فرازمینی آمده باشند. ممکن است ژن‌های بازمانده‌ای وجود داشته باشند که برخی از عملکردهای پیشینیان خود را حفظ کرده باشند، اما در گونه‌های امروزی عملکردهای دیگری دارند. این فرضیه‌ای جذاب برای ارزیابی عملکرد ژن در آزمایشات فضایی به کمک جاندارانی است که ژنوم آن‌ها به طور کامل توالی‌یابی شده است.

کتاب حاضر در سه فصل تدوین شده که، به ترتیب زمانی در تاریخ زمین، به شواهد موجود در هر فرضیهٔ ممکنِ سرآغاز حیات می‌پردازد. فصل اول به امکاناتی می‌پردازد که همین الآن نیز در کهکشان ما برای پشتیبانی از حیات موجودند. فصل دوم برخی طرح‌های موجود در زمینهٔ پیدایش حیات را مرور می‌کند و به نقاط

ضعف و قوت آن‌ها می‌پردازد. سپس نحوهٔ تشکیل اولین ساختارهای شبه‌سلولی را برای خواننده ترسیم می‌کند. فصل سوم به مسائلی می‌پردازد که هنوز کشف نکرده‌ایم ولی ممکن است با یافتن پاسخ آن‌ها قطعات اصلیِ پازل حیات را کنار هم قرار دهیم.

با این حال اگر در مقدمهٔ نویسنده به اصطلاحات تخصصی برخوردید ناامید نشوید چرا که در ادامه این موارد را به‌سادگی شرح خواهیم داد. همچنین اگر رشتهٔ شما در حوزهٔ علوم زیستی نباشد و با اصطلاحات تخصصی آن آشنا نباشید، واژه‌نامه‌ای که در پایان کتاب آمده می‌تواند یاریگر شما باشد. برخی ویژگی‌های مثبت این کتاب به شرح زیر است:

- کتابی علمی است که برای خوانندهٔ عام نگارش شده است. بنابراین نویسنده با مهارتی درخور توجه اصطلاحات تخصصی را با زبانی ساده به خواننده تفهیم می‌کند، و مترجم نیز در واژه‌نامه مفاهیم ناآشنا را برای مخاطب به‌خوبی تشریح کرده است.
- نویسنده در این کتاب با تکیه بر شواهد علمی و تاریخی از ارائهٔ مطالب خارج از حوزهٔ علم خودداری کرده است.
- استفاده از تصاویر بسیار جذاب و گیرا در فهم موضوعات ارائه‌شده به مخاطب کمک شایانی کرده است.
- ساختارمند بودن کتاب و چینش مطالب به شیوه‌ای منظم به خواننده کمک می‌کند در پایان کتاب یا هر فصل به بینشی جامع از موضوع دست یابد.

در پایان، این کتاب را تقدیم می‌کنم به همهٔ دوستداران حقیقت و طبیعت، باشد که ما را به قدر قدمی هرچند کوچک به سمت کشف ناشناخته‌های عالم هستی نزدیک‌تر کند.

مقدمهٔ نویسنده

اجازه دهید ابتدا با یک سؤال چالش‌برانگیز شروع کنم: اصلاً چرا کسی باید بخواهد در مورد سرآغاز حیات بداند؟ پاسخ این سؤال از فردی به فرد دیگر متفاوت است، اما ساده‌ترین پاسخ ارضای حس کنجکاوی است. هر کسی که این مقدمه را می‌خواند فردی کنجکاو است، زیرا در شگفت است که چگونه حیات روی زمین آغاز شده است، اما چیزی بیش از این‌ها در پس پرده وجود دارد. یکی از دوستانم به نام استوارت کافمن کتابی دارد با عنوان **خانه‌ای به وسعت جهان**.[1] این عنوان به حسی عمیق از تعلق اشاره دارد که وقتی شروع به شناخت چگونگی ارتباط حیات زمینی با بقیهٔ جهان می‌کنیم به وجود می‌آید. در پشت پردهٔ کشف این ارتباطات، شگفتی‌ها و مکاشفه‌هایی وجود دارد. مثلاً، سلول‌های زنده عمدتاً از شش عنصر تشکیل شده‌اند. همان‌طور که در ادامه خواهید خواند، اتم‌های هیدروژن در بدن ما ۱۳/۸ میلیارد سال، یعنی به اندازهٔ قدمت جهان، عمر دارند و سایر اتم‌ها نیز بیش از ۵ میلیارد سال پیش در ستاره‌ها ساخته شده‌اند. حیات موجود روی زمین این اتم‌ها را به مدت کوتاهی از کیهان قرض می‌گیرد و سپس آن‌ها را دوباره به آن پس می‌دهد.

1. *At Home in the Universe*

در این‌جا ملاحظات کاربردی نیز وجود دارند. تحقیقات بر محور حس کنجکاوی نه‌تنها کنجکاوی علمی را ارضا می‌کند، بلکه این اکتشافات گاهی نتایج ارزشمندی به دنبال دارند. به عنوان تجربه‌ای شخصی در این زمینه، من تلاش کردم مدل آزمایشگاهی یک سلول ابتدایی را بسازم. بایست راهی پیدا می‌کردم تا مولکولی به نام آدنوزین تری‌فسفات (ATP) را از میان غشاها عبور دهم تا آنزیم‌های گنجانده‌شده درون وزیکول‌های لیپیدی بتوانند از آن به عنوان منبع انرژی برای تولید ریبونوکلئیک اسید (RNA) استفاده کنند. طرح این پرسش و یافتن پاسخ طی چند سال بعد منجر به ابداع روشی به نام توالی‌یابی نانوحفره‌ایِ دی‌اُکسی ریبونوکلئیک اسید[1] (DNA) شد و ابزارهای تجاری‌ای که ایدهٔ اصلی را در خود جای داده‌اند امروزه در حال ساخت هستند. اکنون چرخهٔ اکتشاف و اختراع دارد به تحقیقات پایه بازمی‌گردد زیرا انواعی از دستگاه‌های نانوحفره‌ای در حال توسعه‌اند تا به جستجوی حیات در سایر نقاط منظومهٔ شمسی بپردازند.

اخترزیست‌شناسی به ما کمک می‌کند تا بفهمیم حیات چگونه آغاز شده است

اولین گمانه‌زنی‌ها در مورد چگونگی شروع حیات روی زمین در کتابی به زبان روسی از الکساندر اُپارین[2] در سال ۱۹۲۴، و پس از آن در مقالهٔ کوتاهی از جان هالدان[3] در سال ۱۹۲۹ منتشر شد. هر دوی آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سرآغاز حیات را می‌توان در چارچوب علم شیمی درک کرد و این دیدگاه از آن زمان تاکنون هدایتگر تحقیقات در این زمینه بوده است. با این حال، رشتهٔ جدیدی به نام اخترزیست‌شناسی[4] چشم‌انداز ما را به فراتر از زمین و زیست‌کرهٔ آن گسترش داد. اخترزیست‌شناسی

1. nanopore sequencing of deoxyribonucleic acid
2. Alexander Oparin
3. J. B. S. Haldane
4. astrobiology

بر دانش روزافزون ما در مورد چگونگی شکل‌گیری سیارات، ستارگان، کهکشان‌ها و حتی جهان متکی است. اکنون به‌خوبی می‌دانیم که چگونه زمین به سیاره‌ای قابل سکونت مبدل شد و چرا حیات احتمالاً در سراسر کهکشان راه شیری با ۱۵۰ میلیارد ستاره و سیاره‌هایش، که مطمئناً برخی از آن‌ها قابل سکونت هستند، گسترش یافته است.

پازلِ نحوهٔ شروع حیات قطعات زیادی دارد و البته راه‌های زیادی نیز برای کنار هم قرار دادن این قطعات در یک «تصویر بزرگ». برخی از قطعات این پازل با قوانین شیمی و فیزیک کاملاً اثبات شده‌اند. قطعات دیگر بهترین حدس‌ها در مورد وضعیت زمینِ چهارمیلیارد سال پیش هستند که بر اساس برآورد منطقی ما از آنچه با مشاهدهٔ زمین امروزی و سایر سیارات منظومهٔ شمسی می‌دانیم به دست آمده‌اند. هنوز شکاف‌های عمیقی در دانش ما وجود دارد و این‌جاست که دانشمندان می‌توانند نظرهای کاملاً متفاوتی در مورد اعتبار یک فرضیه داشته باشند. در این‌جا با سؤالات بی‌شماری از جنس «اول مرغ بود یا تخم‌مرغ؟» مواجهیم. مثلاً، اول سوخت‌وساز [متابولیسم] بود یا ژن؟ اول پروتئین بود یا اسید نوکلئیک؟ اکثر دانشمندان موافق هستند که آب مایعی ضروری برای شروع حیات بود، اما آیا این آب در چشمه‌ای گرمابی در زیر دریا بود یا یک چشمهٔ آب شیرین مرتبط با خشکی‌های در حال ظهور؟ در ابتدا بیایید ببینیم دانشمندانی که در زمینهٔ چنین مسائلی کار می‌کنند چگونه سعی می‌کنند پاسخ‌هایی برای این سؤالات بیابند.

تفاوت ایده، گمانه، فرضیه و نظریه چیست؟

همهٔ انسان‌ها ایده‌هایی دارند و یک ضرب‌المثل قدیمی می‌گوید که ایده‌ها فتّ و فراوان‌اند. دلیل فراوان بودن ایده‌ها این است که بشر معمولاً از تعمق کردن در سؤالات و مطرح کردن پاسخ‌های احتمالی لذت می‌برد. گمانه نامی زیبا برای یک ایدهٔ پیچیده است که سعی

دارد چیزی خاص را توضیح دهد. هرچند ممکن است هر گمانه‌ای کاملاً معقول به نظر آید، احتمالاً پایهٔ محکمی از واقعیت‌ها ندارد. مارک تواین در کتاب خود با عنوان **زندگی بر روی می‌سی‌سی‌پی**[1] می‌نویسد: «نکته‌ای جالب توجه در مورد علم وجود دارد و آن این است که با سرمایهٔ ناچیزی از واقعیت، چنان حجم عظیمی از حدس و گمان به دست می‌آید که در ذهن نمی‌گنجد.» وقتی صحبت از سرآغاز حیات به میان می‌آید، بینش مارک تواین در این موضوع درست می‌زند به هدف: واقعیات کم و حدس‌های فراوان. هرچند تواین نویسندهٔ بزرگی بود، دانشمند به حساب نمی‌آید. در دوران حیات وی، دانشمندان پیشگام شروع به کشف قوانین فیزیک و شیمی با استفاده از ابزاری به نام روش علمی کردند.

روش علمی چیست؟

در دوران دبیرستان، اکثر ما در مورد روش علمی، که معمولاً به عنوان فرایندی پنج مرحله‌ای تعریف می‌شود، چیزهایی آموخته‌ایم: ۱. انجام دادن مشاهدات. ۲. طرح یک سؤال مهم. ۳. ارائهٔ یک فرضیه. ۴. آزمودن فرضیه به صورت تجربی یا با مشاهدات بیشتر. ۵. تصمیم‌گیری بر اساس نتایج مثبت یا منفی که آیا آن فرضیه صحیح است یا حداقل دارای قدرت تبیین است یا خیر. اگر قدرت تبیین آن قابل توجه باشد، دیگران بتوانند آن را تکرار کنند و بر سر آن اجماع حاصل شود، آن‌گاه آن فرضیه به نظریه تبدیل می‌گردد.

به نظر می‌رسد روش علمی روشی معقول برای درک دنیایی است که در آن زندگی می‌کنیم. اما در زندگی واقعی، حداقل دربارهٔ تحقیقات در زمینهٔ سرآغاز حیات، این روند اندکی پیچیده‌تر است.

---

1. *Life on the Mississippi*

چیزهای زیادی وجود دارد که ما نمی‌دانیم، طوری که هر محقق فقط یک ایدهٔ مبهم از یک تصویر کلی دارد و اغلب ایده‌های آن‌ها با ایده‌های سایر محققان در تضادند. آنچه ما با قطعیت می‌دانیم این است که سرآغاز حیات در چارچوب قوانین تغییرناپذیر فیزیک و شیمی رخ داده است، بنابراین هدف علم استفاده از این قوانین برای پر کردن شکاف‌های بزرگ در دانش ماست و این‌که شاید روزی بفهمیم حیات چگونه آغاز شده است.

آیا تعریف مشخصی از حیات وجود دارد؟

دربارهٔ تعریف واژه‌نامه‌ایِ حیات، که بتوان آن را در یک جمله بیان کرد، توافق اندکی وجود دارد. دلیلش آن است که سلول‌ها، یعنی واحدهای سازندهٔ حیات، چیز نیستند، بلکه سیستم‌هایی متشکل از ساختارها و فرایندهای مولکولی هستند که هر یک برای عملکرد کل ضروری‌اند. با این حال، می‌توان کلی‌ترین ویژگی‌ها را فهرست کرد و سپس ساختارها و فرایندهای منفرد را به گونه‌ای توصیف نمود که فقط زمانی که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند بتوانند با چیزی که زنده است تطابق داشته باشند. شاید این بهترین کاری باشد که می‌توانیم انجام دهیم، بنابراین در ادامه برخی از ویژگی‌های عمومی و به دنبال آن فهرستی از دوازده ویژگی خاص که معرف حیات سلولی روی کرهٔ زمین هستند آورده شده است.

ویژگی‌های عمومی

سلول‌های زنده سیستم‌هایی محصورشده از پُلیمرها هستند که از مواد غذایی و انرژی محیط برای انجام دادن وظایف زیر استفاده می‌کنند:

- سوخت‌وساز کاتالیزشده توسط آنزیم‌ها
- رشد با کمک پلیمریزاسیون کاتالیزشده

- هدایت رشد با کمک اطلاعات ژنتیکی
- تکثیر اطلاعات ژنتیکی
- تقسیم سلول به سلول‌های دختری
- موتاسیون[1] یا جهش ژنتیکی
- تکامل

ویژگی‌های خاص

۱. یک سلول زنده از دو نوع پلیمر پایه ساخته شده که درون یک مرز غشایی گنجانده شده است. این پلیمرها از شش عنصر تشکیل شده‌اند که به‌اختصار با CHONPS، برای کربن (C)، هیدروژن (H)، اکسیژن (O)، نیتروژن (N)، فسفر (P) و گوگرد (S)، نشان داده می‌شود.
۲. یکی از پلیمرها شامل پروتئین‌هایی است که می‌توانند نقش ساختاری داشته باشند یا به عنوان کاتالیزور آنزیمی عمل کنند. پلیمر دیگر اسید نوکلئیک نام دارد و حاوی اطلاعات ژنتیکی در توالی مونومرهای خود است.
۳. مونومرهای سازندهٔ پروتئین‌ها متشکل از بیست نوع اسید آمینهٔ مختلف هستند، و مونومرهای اسیدهای نوکلئیک شامل هشت نوکلئوتید مختلف‌اند که چهار تای آن‌ها در DNA و چهار تای دیگر در RNA قرار گرفته‌اند.
۴. سلول‌های زنده به منبعی از مواد غذایی از محیط خارجی نیاز دارند.
۵. سلول‌های زنده به منبعی از انرژی مانند نور یا انرژی شیمیایی موجود در مواد غذایی نیاز دارند. از این منابع انرژی برای هدایت واکنش‌های سوخت‌وساز استفاده می‌شود که مواد مغذی را به ترکیبات مورد استفاده در حیات تبدیل می‌کند.
۶. فرایند پلیمریزاسیون خودبه‌خود اتفاق نمی‌افتد، بلکه نیازمند انرژی

1. mutation

است. در نتیجهٔ سوخت‌وساز، به ساختار مونومرهای پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک انرژی شیمیایی اضافه می‌شود تا آنزیم‌ها به کمک آن مونومرها را به هم بچسبانند و به شکل پلیمر درآورند.

۷. آنزیم‌ها تولید پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک را کاتالیز می‌کنند و اطلاعات ژنتیکی موجود در پلیمرهای اسید نوکلئیک این فرایند را هدایت می‌کند. پروتئین‌ها را ساختارهای درون‌سلولی‌ای به نام ریبوزوم تولید می‌کنند.

۸. در نتیجهٔ واکنش‌های پلیمریزاسیون، سلول‌ها رشد می‌کنند و مولکول‌های حامل اطلاعات ژنتیکی[۱] را تکثیر می‌کنند.

۹. پلیمری از اسید نوکلئیک به نام DNA قادر است در فرایندی که آنزیم‌ها کاتالیزش می‌کنند همانندسازی شود.

۱۰. در یک مرحلهٔ خاص از فرایند رشد، سلول‌هایی که اطلاعات ژنتیکی‌شان دو برابر شده می‌توانند تقسیم شوند و در نتیجه سلولی مشابه خود را تولید کنند.

۱۱. خطاهایی به نام جهش ژنتیکی در فرایند تکثیر ژن‌ها رخ می‌دهد، به طوری که سلول‌های منفرد در جمعیت‌هایی مانند یک کشت باکتریایی دچار تغییراتی در ژنوم خود می‌شوند.

۱۲. برخی از این تغییرات نوعی مزیت انتخابی ایجاد می‌کند و آن سلول‌ها و فرزندانشان زنده می‌مانند، ولی آن‌هایی که این مزیت را ندارند از بین می‌روند. این فرایند تکامل نامیده می‌شود.

این‌ها ویژگی‌های سلول‌های زنده‌اند و واضح است که آن‌ها اجزایی از یک سیستم فوق‌العاده پیچیده هستند. وقتی می‌خواهیم این ویژگی‌ها را به سرآغاز حیات سلولی ربط دهیم، لازم است که آن‌ها را یکی‌یکی مانند تعدادی پرسش در نظر بگیریم.

---

۱. یعنی DNA و RNA. ــ م.

- غشاهای لازم برای تشکیل مرزهای اولین سلول‌ها از کجا آمدند؟
- منبع انرژی برای سلول‌های ابتدایی چه بوده است؟
- کدام‌یک از ترکیبات آلی موجود بودند و از کجا آمدند؟
- سوخت‌وساز چگونه آغاز شد؟
- حیات چگونه هموکایرال یا یکدست‌واره شد؟
- اولین پلیمرهای مرتبط با حیات چه بودند؟
- قبل از شروع حیات آن پلیمرها چگونه تولید شدند؟
- چگونه آن پلیمرها در داخل مرزهای غشایی گنجانده شدند؟
- چگونه برخی پلیمرهای خاص به کاتالیزور تبدیل شدند؟
- چگونه برخی پلیمرها شروع به ذخیرهٔ اطلاعات ژنتیکی کردند؟
- چگونه آن پلیمرها قادر به رشد و تکثیر شدند؟
- اولین اَشکال اسیدهای نوکلئیک چه بودند؟
- اولین اَشکال پروتئین‌ها چه بودند؟
- چگونه توالی‌های بازی در اسیدهای نوکلئیک شروع به هدایت توالی اسیدهای آمینه در پروتئین‌ها کردند؟
- چگونه سلول‌ها شروع به تقسیم و تولیدمثل کردند؟
- اولین قدم‌های تکامل چه بود؟

این سؤالات نشان می‌دهد مرز آنچه ما در مورد سرآغاز حیات می‌دانیم کجاست و از آن به مثابهٔ راهنما جهت کنار هم قرار دادن قطعات دانشِ ارائه‌شده در این کتاب استفاده خواهد شد. پژوهشگران مختلفی این قطعات را کشف کرده‌اند، محققانی که شجاعت آن‌ها درخور ستایش است چرا که تا فراتر از مرزهای شناخته‌شده به دنیای ناشناخته‌ها قدم گذاشتند. آن‌ها نقشه‌ای در دست نداشتند، اما با علم به این‌که حیات بی‌شک شروعی داشته است به کار خود ادامه دادند، و حتی فرایندهایی بسیار نامحتمل، طی صدها میلیون سال و در سطح وسیعِ سیارهٔ قابل

سکونتی مانند زمین اولیه، امروزه به واقعیاتی قریب به یقین تبدیل شده‌اند.

بیشتر مردم علم را بر اساس پاسخ‌هایی که می‌توان در کتاب‌های درسی یافت تصور می‌کنند، اما دانشمندان طور دیگری فکر می‌کنند. آن‌ها می‌دانند که هرچند خروجیِ ارزشمندِ علم یافتن پاسخ‌هاست، بخش هیجان‌انگیز درونِ پرسش‌های بی‌پاسخی است که زندگی‌شان را وقف آن می‌کنند. این کتاب در سه فصل تنظیم شده است که پرسش‌ها و پاسخ‌هایی را مطرح می‌کند. در فصل اول، «چگونه اجزای یک سیارهٔ قابل سکونت را سرهم‌بندی کنیم»، تاریخچهٔ عناصر بیوژنیک یا زیست‌زا را، از منشأ آن‌ها در ستاره‌ها گرفته تا نحوهٔ تحویل آن‌ها به زمین و سایر سیارات قابل سکونت در کهکشان راه شیری، ردیابی می‌کنیم. فصل دوم، «از غیرزنده تا تقریباً زنده»، توضیح می‌دهد که چگونه مولکول‌های آلی ساده در طول زمان پیچیده‌تر شدند و در نهایت به شکل ساختارهایی سرهم‌بندی می‌شوند که تقریباً زنده هستند، اما نه به طور کامل. فصل سوم، «آنچه هنوز کشف نکرده‌ایم»، به سؤالاتی می‌پردازد که تاکنون بی‌پاسخ مانده‌اند، یعنی زمانی که بخواهیم بفهمیم ساختارهای مولکولی‌ای که تقریباً زنده‌اند چگونه به کاملاً زنده تبدیل می‌شوند. اگرچه ما هرگز با قاطعیت کامل نخواهیم فهمید که حیات چگونه آغاز شد، به نظر می‌رسد ممکن است در آینده بفهمیم که حیات چگونه می‌تواند در یک سیارهٔ قابل سکونت مانند زمین اولیه آغاز شود.

۱

چگونه اجزای یک سیارهٔ قابل سکونت را سرهم‌بندی کنیم

هیدروژن گازی بی‌رنگ و بی‌بوست که وقتی به آن زمان کافی داده شود، به انسان تبدیل می‌گردد. چه مدت؟ ۱۳/۷ میلیارد سال!

یک روش خوب برای ارائهٔ اطلاعات در این کتاب طرح یک پرسش، پاسخ دادن به آن، و سپس طرح پرسشی دیگر و پاسخ دادن به آن است: از کجا می‌دانیم؟ سؤال اول واضح است: آیا واقعاً هیدروژن می‌تواند به انسان تبدیل شود؟ برای پاسخ دادن به آن باید با سؤالی ساده‌تر شروع کنیم: اتم‌های حیات از کجا آمده‌اند؟

عناصر حیات روی زمین میلیاردها سال قدمت دارند

شگفت‌آور است اگر بدانیم اتم‌های کربن، اکسیژن و نیتروژن موجود در آب، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، و غشای سلول میلیاردها سال قدمت دارند. در واقع، تقریباً ۷۰ درصد تعداد کل اتم‌های موجود در بدن انسان از اتم‌های هیدروژن تشکیل شده است، و اتم‌های هیدروژن ۱۳/۷ میلیارد سال عمر دارند، به اندازهٔ قدمت خود جهان.

آیا این ممکن است حقیقت داشته باشد؟ به خاطر داشته باشید

که علم با قطعیت سر و کار ندارد، بلکه در عوض تبیین‌هایی پیشنهاد می‌دهد که به بهترین وجه با شواهد موجود مطابقت داشته باشند و سپس این تبیین‌ها را با آزمایش‌ها و مشاهدات بیشتر ارزیابی می‌کند. مثلاً، هفتاد سال پیش دو توضیح مختلف درباره منشأ جهان وجود داشت. یکی از آن‌ها نظریهٔ حالت پایدار بود که فرِد هویل[1] مطرح کرد و می‌گفت جهان آغازی ندارد. مورد دوم، که جورج گامو[2] پیشنهاد کرد، این بود که جهان واقعاً آغازی دارد ــ هویل اصطلاح «مهبانگ»[3] را برای توصیف ایدهٔ آغاز جهان ابداع کرد. نظریهٔ گامو دو پیش‌بینی مهم داشت: اول این‌که جهان بی‌شک هنوز در حال انبساط است، و دوم این‌که حتماً نوعی فرکانس رادیوییِ غرشی ناشی از انفجار بزرگ باقی مانده است، چیزی شبیه پژواک رعد که پس از مشاهدهٔ برق می‌شنویم.

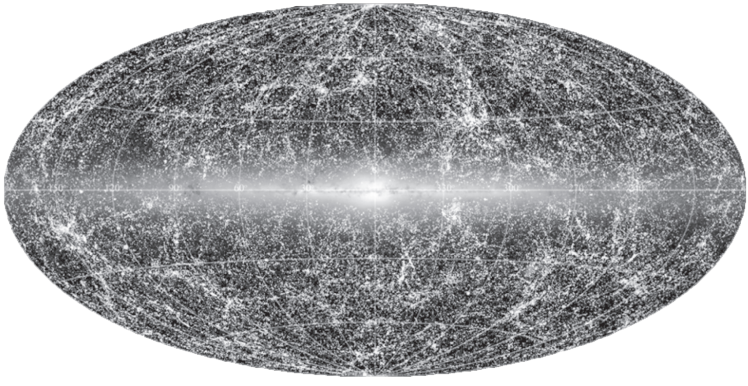
از کجا می‌دانیم؟

مشاهدات اخترشناسان نشان داد که نور کهکشان‌هایی که میلیون‌ها و حتی میلیاردها سال نوری با زمین فاصله دارند از طول موج‌های کوتاه‌تر (آبی) به طول موج‌های بلندتر (قرمز) تغییر کرده بود، که مطابق با جهانی بود که از نقطه‌ای از زمان در ۱۳/۷ میلیارد سال پیش تاکنون در حال انبساط بود. همچنین اخترشناسان رادیویی پارازیت ثابتی در محدودهٔ فرکانس ریزموج[4] شناسایی کردند که به نظر می‌رسید از همهٔ جهات کیهان می‌آید. گامو این پدیده را پیش‌بینی کرده بود و اکنون تابش پس‌زمینهٔ کیهانی نامیده می‌شود. بنابراین ایدهٔ حالت پایدار هویل کنار گذاشته و نظریهٔ مهبانگ با اجماع پذیرفته شد زیرا قدرت تبیین بیشتری دارد.

تصویر ۱ نشان می‌دهد که جهان امروز چگونه به نظر می‌رسد. بیشتر

1. Fred Hoyle
2. George Gamow
3. Big Bang
4. microwave

مواد مرئیِ کیهان درون کهکشان‌هایی مشابه کهکشان راه شیری جمع شده‌اند. کهکشان‌ها به طور تصادفی پراکنده نشده‌اند، بلکه خوشه‌هایی را می‌سازند که در تصویر قابل مشاهده است. آنچه در این تصویر می‌بینید شامل میلیاردها کهکشان است که هر کدام میلیاردها ستاره دارند که همگی از انرژی آزادشده در طی همجوشیِ پروتون‌های هیدروژن برای تشکیل هلیوم تغذیه می‌کنند (در دمای بالای ستاره، اتم هیدروژن نمی‌تواند الکترون خود را حفظ کند، بنابراین پروتون‌ها تحت واکنش‌های همجوشی قرار می‌گیرند). دلیل به وجود آمدن این خوشه‌ها آن است که هیدروژن مانند همهٔ مواد دارای گرانش است و نیروی گرانش می‌تواند باعث تجمع هیدروژن در ابرهای گازی شود، سپس در دیسک‌هایی که به‌آرامی می‌چرخند، و در نهایت به ستاره‌ای در مرکز دیسک فرومی‌ریزند؛ اغلب سیاراتی به دور آن ستاره در حال چرخش‌اند. نیروی گرانش ستارگان را در کهکشان‌ها کنار



تصویر ۱. امروزه اخترشناسان برای تهیهٔ نقشه‌ای که نحوهٔ توزیع کهکشان‌ها در جهان مرئی را نشان می‌دهد اطلاعات کافی دارند. نحوهٔ توزیع کهکشان‌ها تصادفی نیست، برعکس در خوشه‌ها و رشته‌هایی جمع می‌شوند. نوار سفید کهکشان خود ما یعنی کهکشان راه شیری است که از لبهٔ آن مشاهده می‌شود.
منبع: WISE, 2MASS.

هم نگه می‌دارد و باعث می‌شود که کهکشان‌ها خوشه‌هایی را که در تصویر می‌بینید تشکیل دهند، که البته این تصویر خیالی نیست. این نقشه‌ای واقعی از خوشه‌های کهکشانی بر اساس نتایج رصدی است. خط سفیدی که در مرکز تصویر از چپ به راست کشیده شده است ساختگی نیست. این خط همان کهکشان راه شیری خودمان است که از لبه دیده می‌شود، به طوری که کهکشان‌های واقع در پشت خود را پنهان می‌کند. نواحی تاریکی که مقداری از نور ستارگان را پنهان می‌کند همان غبار بین‌ستاره‌ای است که از ستارگان در حال مرگ خارج می‌شود و سپس به شکل ابرهای وسیع تجمع می‌یابد.

اتم‌هایی سنگین‌تر از هیدروژن در ستارگان تولید می‌شوند

اگر ستارگان کاری غیر از همجوشی هیدروژن به هلیوم انجام می‌دادند، جهان خالی از حیات می‌شد. با این حال، واکنش‌های هسته‌ای که در ستارگان اتفاق می‌افتد شامل فرایندهای همجوشی ثانویه نیز هست که در آن عناصر حیات ــ کربن، اکسیژن، نیتروژن، فسفر و گوگرد ــ همراه آهن و سیلیکون، که سیارات سنگی مانند زمین را تشکیل می‌دهند، تولید می‌شوند. وقتی انرژی لازم برای همجوشی هیدروژنِ یک ستارهٔ معمولی تمام می‌شود، ابتدا به یک غول سرخ منبسط می‌گردد و سپس در خود فرومی‌ریزد و بیشترِ جرم باقیماندهٔ خود را به صورت ذرات میکروسکوپی‌ای به نام غبار بین‌ستاره‌ای آزاد می‌کند. این ذرات از سیلیکات معدنی و آهن مخلوط با آب و ترکیبات آلی حاوی عناصر زیست‌زا همراه با مقادیر اندکی از عناصر دیگرِ جدول تناوبی تشکیل شده‌اند.

از کجا می‌دانیم؟

از آن‌جا که دانش فنی به ما امکان ساخت تلسکوپ‌های قدرتمند را داده است، امروزه عملاً می‌توانیم عناصری را ببینیم که از برخی

ستاره‌ها به بیرون پرتاب می‌شوند، ستاره‌هایی که «با تمام شدن گازشان» در خود فرومی‌ریزند و دیگر انرژی لازم برای همجوشی را ندارند. این تلسکوپ‌ها لزوماً از آن دسته نیستند که عدسی و آینه‌های شیشه‌ای برای جمع‌آوری نور مرئی دارند. تلسکوپ‌های رادیویی قادرند امواج رادیویی را «ببینند»؛ تلسکوپ‌های مادون قرمز می‌توانند حضور مولکول‌های آلی موجود در فضا را تأیید کنند؛ و تلسکوپ‌های دیگر می‌توانند تصاویری از نور فرابنفش و اشعهٔ ایکس بسازند. حتی تلسکوپ‌هایی مانند هابل وجود دارند که بسیار بالاتر از جو در مداری به دور زمین می‌چرخند، چرا که جو نور ستاره‌ها و کهکشان‌های دوردست را منحرف می‌کند.

تصویر ۲ (نگاه کنید به صفحهٔ ۱۲۹) بقایای یک ابرنواختر است که یک تلسکوپ پرتو ایکس آن را گرفته است. این ابرنواختر کاسیوپیا اِی[1] نام دارد و تصویر آن برای نشان دادن عناصری که از ستارهٔ در حال فروپاشی خارج شده‌اند رنگی شده است. رنگ بنفش نشان‌دهندهٔ آهن، زرد گوگرد، سبز کلسیم، و قرمز سیلیکون است. تنها چیزی که از خود ستاره باقی مانده نقطهٔ کوچکی در مرکز است که اکنون ستارهٔ نوترونی نامیده می‌شود.

فرایندهای حیاتی از اتم‌های آهن، گوگرد و کلسیم استفاده می‌کنند. اما کربن، اکسیژن و نیتروژن چطور؟ آن‌ها از کجا آمده‌اند؟ در اواخر دههٔ ۱۹۴۰ فرِد هویل، کیهان‌شناس بریتانیایی، ایده‌ای در سر داشت. او می‌توانست برای تولید کربن در ستارگان با دمای بسیار بالا توضیحی ارائه دهد، این‌که اگر بریلیوم با چهار پروتون در هسته‌اش با ذرهٔ آلفای متشکل از یک هستهٔ هلیوم همجوشی انجام دهد کربن تولید می‌شود. در ادامه، همان‌طور که در تصویر ۳

1. Cassiopeia A

نشان داده شده است (نگاه کنید به صفحهٔ ۱۳۰)، می‌توان با چرخهٔ کربن-نیتروژن-اکسیژن (CNO)، اکسیژن و نیتروژن را از کربن تولید کرد. در ستاره‌ای مانند خورشید خودمان، طول موج‌های ویژهٔ عناصر مختلف در طیف نور خورشید دیده می‌شوند. به استثنای هیدروژن و هلیوم، مقادیر عناصر موجود در خورشید ما مشابه مقادیر موجود در سیارات اطراف است، که این خود نشانهٔ واضحی است از تشکیل کل منظومهٔ شمسی در یک ابر مولکولی وسیع از غبار و گاز.

همهٔ اَشکال حیات از شش عنصر زیست‌زا تشکیل می‌شوند

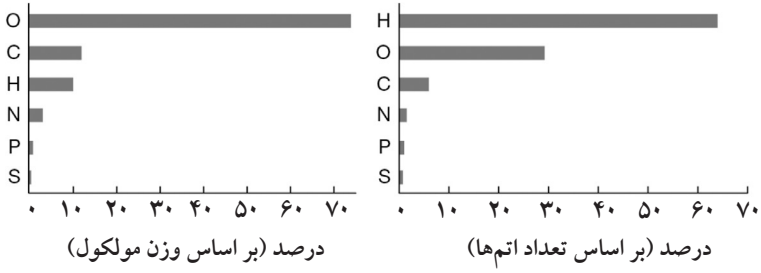
عناصر زیست‌زا همان‌هایی هستند که بیشتر جرم هر موجود زنده‌ای را تشکیل می‌دهند. از آن‌جایی که یک سلول زندهٔ معمولی حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد از H_2O یا آب تشکیل شده است، بخش عمدهٔ وزن آن مربوط به اکسیژن موجود در مولکول آب است. کربن در رتبهٔ بعدیِ فراوان‌ترین عنصر است، زیرا در تمام مولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک همراه نیتروژن وجود دارد. با این حال، از نظر تعداد اتم‌ها در یک سلول زنده، هیدروژن فراوان‌ترین است و تقریباً ۷۰ درصد تعداد کل اتم‌ها را تشکیل می‌دهد.

از کجا می‌دانیم؟

فرض کنید یک گرم باکتری زنده داریم، مانند باکتری‌هایی که باعث ترش شدن شیر یا تبدیل شدن سیب به سرکه می‌شوند. باکتری‌ها مطمئناً زنده‌اند و اسیدهایی که تولید می‌کنند ــ اسید لاکتیک و اسید استیک ــ محصولات جانبی سوخت‌وساز آن‌ها هستند. سپس باکتری‌ها را تا دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتیگراد در خلأ حرارت می‌دهیم، فرایندی به نام پیرولیز باعث می‌شود تمام مولکول‌های آلی به اتم‌های تشکیل‌دهنده و چند مولکول ساده مانند آب تجزیه شوند.

پیرولیز باکتری‌ها را به خاکستری سیاه تبدیل می‌کند و با آنالیز کردنِ خاکستر مشخص می‌شود که عمدتاً از عنصر کربن تشکیل شده و با مقادیر اندکی از نمک‌های کلرید سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم به همراه مقادیر جزئی فسفات و گوگرد مخلوط شده است. وقتی گاز منتشرشده را تجزیه و تحلیل کنیم، می‌بینیم عمدتاً از آب ــ H_2O ــ و مقادیر کمتری گاز نیتروژن و گوگرد به شکل سولفید هیدروژن یا H_2S تشکیل شده است. در نهایت، کربن سیاه را وزن می‌کنیم و جرم مواد موجود در گازها را محاسبه می‌کنیم.

با اندکی محاسبه می‌توان نتایج را به صورت درصد جرم یا تعداد اتم‌ها نشان داد. بیشتر جرم یک سلول زنده از اکسیژن تشکیل شده است زیرا جزئی از آب (H_2O) است. از نظر تعداد، هیدروژن ۶۲ درصد از تعداد کل اتم‌ها را تشکیل می‌دهد و پس از آن اکسیژن، کربن و نیتروژن در پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک قرار دارند (شکل ۱.۱). اگرچه فسفر و گوگرد برای ادامهٔ حیات ضروری‌اند، فقط بخش کوچکی از عناصر را تشکیل می‌دهند. نکته‌ای که باید در نظر داشت این است که همهٔ عناصر زیست‌زا بجز هیدروژن و اندکی هلیوم درون ستارگان و طی نوکلئوسنتز ستاره‌ای تولید شده‌اند. هیدروژن موجود



شکل ۱.۱. درصد عناصر زیست‌زای موجود در یک سلول باکتریایی. O، اکسیژن؛ C، کربن؛ H، هیدروژن؛ N، نیتروژن؛ P، فسفر؛ S، گوگرد.
منبع: نویسنده.

در آب، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیکِ حیات فقط به این دلیل وجود دارد که از گرفتار شدن در ستاره‌ها گریخته است. به همین دلیل است که سن بخش عمده‌ای از عناصر حیاتی به قدمت کیهان است.

غبار بین‌ستاره‌ای بذرهای اتمی و مولکولی حیات را برای منظومهٔ شمسی فراهم کرد

عکس نشان داده‌شده در تصویر ۴ (نگاه کنید به صفحهٔ ۱۳۱) را تلسکوپ هابل هنگام گردش به دور زمین گرفته است. در این تصویر یک کهکشان مارپیچی زیبا به نام ان‌جی‌سی ۱۵۶۶ را می‌بینیم که مخفف نیو جنرال کاتالوگ[1] در ستاره‌شناسی است و به دنبال آن یک عدد آمده است. این کهکشان حاوی میلیاردها ستاره است و نواحی تولد ستاره‌های جدید در بازوها را می‌توان با نقاط درخشان مایل به قرمز تشخیص داد. اما چیز دیگری نیز در این تصویر قابل مشاهده است، نوارهای تاریکی در کهکشان وجود دارد که نور ستاره‌ها را پنهان می‌کنند. ما نوارهای مشابهی را در کهکشان راه شیری خودمان می‌بینیم. این مناطق تاریک غبار بین‌ستاره‌ای نامیده می‌شوند که از خاکستر ستارگانی تشکیل شده که به پایان عمر خود رسیده و سپس منفجر شده‌اند. گرد و غبار ستاره‌ای حاوی عناصری است که درون ستارگان تولید شده‌اند، مانند آهن و سیلیکون به شکل کانی‌های سیلیکات. لایهٔ نازکی از آب یخ‌زده روی سطح ذرات گرد و غبار را می‌پوشاند، و این یخ حاوی مولکول‌های ساده‌ای مانند دی‌اکسید کربن (CO_2)، مونوکسید کربن (CO)، آمونیاک (NH_3)، و متانول (CH_3OH) است.

از کجا می‌دانیم؟

در سال ۱۹۳۲، کارل جانسکی در آزمایشگاه‌های تلفن بِل کار می‌کرد

1. New General Catalog