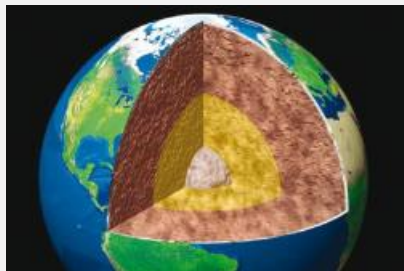


راز حیات؛ مدفون در قلب زمین

زمانی تصور می‌شد انرژی لازم برای تمام اشکال حیات صرفاً از جانب خورشید تامین می‌شود یا به عبارت دیگر اگر خورشید نباشد...



زمانی تصور می‌شد انرژی لازم برای تمام اشکال حیات صرفاً از جانب خورشید تامین می‌شود یا به عبارت دیگر اگر خورشید نباشد، حیات هم نخواهد بود، اما چند دهه پیش که زیست‌شناسان مطالعه روی نقاط دورافتاده زمین و محیط‌های خشن را آغاز کردند، دریافتند جدا از نقش انکارناپذیر خورشید، واکنش‌های شیمیایی نیز می‌تواند بخصوص در اعماق دریاها و برای محمدهات، نمک‌سکبه، نقش، حیات، انفا کند.

پیشرفت‌های علمی نشان داده میکروب‌های زیادی در طبیعت وجود دارند که انرژی لازم را برای ادامه بقای خود از طریق انجام واکنش‌های شیمیایی و نه لزوماً خورشید به دست می‌آورند. این میکروب‌ها یا میکروارگانیسم‌های افسانه‌ای را می‌توان براحتی در محیط‌های گوناگون از رسوبات بخش‌های تاریک و تحتانی اقیانوس‌ها گرفته تا به اصطلاح ذخایر میکروسکوپی آب در درون صخره‌های سخت و جامد پیدا کرد. با وجود این هنوز پرسش‌های زیادی درباره اکوسیستم‌های خرد میکروبی باقی مانده است. به عنوان مثال این که اساساً چگونه میکروب‌ها وارد لایه‌های عمیق و زیرین زمین شده‌اند؟ آیا اجتماعات میکروبی مذکور قابلیت رشد دارند یا صرفاً حاصل بازیافت مواد غذایی موجود در صخره‌ها و کربن سلول‌های مرده هستند؟ این موجودات میکروسکوپی تا چه اندازه در بخش‌های عمیق زیست کره یا بیوسفر (قسمتی از کره زمین که حیات در آن یافت می‌شود) نفوذ کرده‌اند؟ چه مقدار از آنها صرفاً بقایای بیجانی هستند که در دام پروسه‌های کند زمین‌شناسی افتاده و چرخ فرسایش طبیعی در حال نابودی آنهاست؟ مطالعات میدانی گسترده نشان داده برخی میکروب‌ها حتی با وجود آن که کیلومترها در زیرزمین مدفون شده‌اند، اما باز هم حیات دارند. دانشمندان هنوز بدرستی نمی‌دانند این موجودات ریز میکروسکوپی چه سطحی از زیست کره را اشغال کرده‌اند یا دقیقاً تا چه عمقی می‌توانند به بقای خود ادامه دهند؟

مطالعات پیشین: نمونه برداری از برخی اجتماعات میکروبی

نمونه برداری، یکی از راه‌های تشخیص میکروب‌های زیرزمینی است. معمولاً دانشمندان پس از نمونه برداری میکروب‌ها، آنها را زیر میکروسکوپ بررسی می‌کنند، اما مشکل اینجاست که باوجود تشخیص میکروب‌ها بسختی می‌توان گفت آیا آنها روی زمین فعال می‌شوند یا عکس‌العمل آنها در محیط زیست طبیعی شان نیز عیناً مشابه رفتاری است که زیر میکروسکوپ دارند؟ سابق بر این دانشمندان تلاش می‌کردند بسته به محدودیت‌های زیست محیطی از جمله درجه حرارت، عمقی را برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها تعریف کنند، اما به دلایل متعدد هنوز نتوانسته‌اند عمق مشخصی برای این منظور تعریف کنند. به طور کلی با نزدیک شدن به هسته زمین، درجه حرارت بیشتر می‌شود و طبیعتاً امکان بقای میکروب‌ها در جاهایی که درجه حرارت از حد متعارف بالاتر باشد، وجود ندارد. با وجود این هنوز بسیار سخت است بتوان مرزی مشخص را برای ادامه حیات موجودات ریز میکروسکوپی تعیین کرد.

محدودیت‌های بقا

پروفسور تویس اونستوت - که استاد علوم زمین‌شناسی از دانشگاه پرینستون است - درباره محدودیت‌های بقای موجودات میکروسکوپی می‌گوید: «میکروب‌ها برای ادامه حیات در درجه حرارت‌های بالا باید الزاماً پروتئین‌های خود را به طور مدام جایگزین کنند. اگر میکروب‌ها انرژی متابولیک کافی (انرژی لازم برای سوخت و ساز بدن) برای چنین جایگزینی نداشته باشند، قطعاً ادامه بقای آنها نیز میسر نخواهد بود.» درجه حرارت‌های بالای محیط یک چالش بزرگ برای ادامه حیات میکروب‌ها تلقی می‌شود، چراکه از طرفی اجزای سازنده سلولی تحت این شرایط بسرعت شکسته و تجزیه می‌شوند و چنانچه حتی یک سلول نتواند آسیب وارده را اصلاح کند، شرایط بسرعت آن سلول و دیگر سلول‌ها را به سمت نیستی سوق می‌دهد. از طرف دیگر اگر در عملکرد پروتئین‌ها اختلال ایجاد شود، متابولیسم هم به دست انداز می‌افتد و در نهایت متوقف می‌شود. بدیهی است غشاء و دیواره‌های سلولی و حتی DNA در این شرایط نمی‌توانند مدت زیادی دوام داشته باشند، لذا این تنها درجه حرارت نیست که شرایط زیست‌پذیری را برای میکروب‌ها محدود می‌کند، بلکه ناتوانی موجودات ریزمیکروسکوپی در اصلاح خرابی‌های ناشی از درجه حرارت نیز می‌تواند یک فاکتور محدودکننده باشد.

پروفسور اونستوت می‌افزاید: «باید توجه داشت میکروب‌ها در درجه حرارت‌های پایین نیز از بین می‌روند، در حالی که در درجه حرارت‌های بالاتر، اگر شرایط تغذیه مناسب و انرژی برای آنها فراهم باشد، توانایی بیشتری برای اصلاح و حتی زادآوری دارند. بقای میکروب‌ها بیشتر از هر چیز دیگر تابع منابع و انرژی است. مطالعات پیشین اغلب بر مساله منابع خصوصاً منبع کربن آلی تاکید داشتند، در حالی که اولویت‌های تحقیقاتی اکنون کمی متفاوت است.»

انرژی فرشته

بدیهی است میکروب‌ها علاوه بر منابع به انرژی هم نیاز دارند. انرژی در سطوح زیرین زیست کره و آن هم جایی که نور خورشید در دسترس نیست، تنها به مواد معدنی یا شیمیایی محدود می‌شود که در واکنش‌های شیمیایی درون سلولی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این واکنش ها و انرژی تولید شده قطعا می تواند فرشته نجات دانشمندان باشد، چراکه از این طریق می توان مطالعات بیشتری روی سرعت تکثیر میکروب ها انجام داد. دانشمندان به منظور برآورد سرعت متابولیسم سلول های میکروبی در زیر سطح زمین نوسانات برخی از ترکیبات معدنی و شیمیایی را که در فرآیند تولید انرژی به کار می روند، مورد مطالعه قرار دادند. میکروب ها نیز درست مانند ما چیزهایی می خورند تا انرژی لازم را به دست بیاورند و سپس مواد زاید را دفع می کنند، اما غذای ایده آل میکروب ها می تواند چیزی شبیه مولکول های اکسید آهن باشد. همین نوع خاص تغذیه نیز باعث می شود ترکیب مواد معدنی و شیمیایی در محیط تغییر کند. دانشمندان از روی سرعت متابولیسم میکروب ها به این جمع بندی رسیده اند که ساخت ترکیبات کمپلکس در طبیعت توسط میکروب ها زمانی دو برابر سوخت و ساز لازم دارد. این مدت زمان طولانی به این جهت است که کربن کافی باید بتواند با بیومس یا همان ماده آلی مورد استفاده برای تولید انرژی، بخوبی در هم بیامیزد. این مهم را دانشمندان در دهه 1990 میلادی (1369 تا 1379 ه. ش) و زمانی کشف کردند که توانستند از آبی به عمق 200 متر، نمونه هایی با قدمت 1400 تا 150 هزار سال بردارند. سال 2005 میلادی (1384 ه. ش) یک مطالعه تحقیقاتی دیگر همین مدت زمان را آن هم در رسوبات 34 متری زیر سطح دریا تأیید کرد. بعلاوه در این مورد آخر دانشمندان تخمین زدند سرعت ساخت ترکیبات کمپلکس در میکروب های این رسوبات چیزی حدود ده ماه است.

روش جدید

تحقیقات تازه ای در همین زمینه از سوی موسسه اختر زیست شناسی ناسا در دست انجام است که در آن رویکردی متفاوت نسبت به مطالعات قبلی در پیش گرفته شده است. دانشمندان در تحقیقات تازه به جای بررسی وضعیت مواد معدنی و شیمیایی محیط، تصمیم دارند آسیب های وارده و ترمیم های داخل سلولی را مورد مطالعه قرار دهند. این تیم تحقیقاتی روشی را براساس مفهوم استفاده از آمینواسید خاصی به نام اسیداسپارتیک (یکی از 20 اسید آمینه اصلی یاخته های زنده) طرح ریزی کرده. اسید اسپارتیک یک مولکول چیرال است، یعنی در طبیعت به دو شکل وجود دارد که هر دوی آنها تصاویر آینه ای یکدیگر هستند. نمونه بارز مفهوم چیرال را می توان در دست های انسان جستجو کرد، چراکه هر دو دست انسان نیز تصاویر آینه ای اما غیرانطباق بر یکدیگر هستند. سلول های موجودات زنده نیز مشخصا توانایی تولید تعداد زیادی اسیداسپارتیک نوع ال یا همان اسید اسپارتیک موسوم به دست چپ را دارند. این در حالی است که در طبیعت اسیداسپارتیک نوع د یا همان اسیداسپارتیک موسوم به دست راست هم وجود دارد. از نظر تئوری اگر در محیطی مقادیر مساوی از هر دو وجود داشته باشد یعنی در آن محیط حیات وجود ندارد، اما زمانی که اسیداسپارتیک نوع ال در نمونه های برداشت شده از محیط بیشتر باشد، این مساله می تواند نشانه خوبی دال بر حضور سلول های زنده باشد، چراکه این سلول ها هستند که اسیداسپارتیک نوع ال را می سازند. در هر صورت فشارهای وارده از محیط همیشه در تلاش هستند تا میزان این دو را در یک حد تعادل نگه دارند و این فرآیندی است که در دنیای علم از آن با عنوان راسمیک شدن یاد می شود.

پروفسور اونستوت در تشریح این مساله می افزاید: «از میان تمام اسیدهای آمینه، اسیداسپارتیک سریع تر به تعادل می رسد یعنی سرعت راسمیک شدن آن بیشتر است. مشخصا فراوانی این اسیدآمینه در پروتئین های پروکاریوتی (سلول های فاقد هسته و غشای هسته ای) بین 6 تا 7 درصد است و این حتی درباره ژنوم باکتری های زیرزمینی صادق است.» جالب است بدانید پروسه راسمیک شدن یا رسیدن به تعادل برای سلول ها خطرناک است. پروفسور اونستوت می افزاید: «نظر به این که پروتئین های پروکاریوتی متضاد پپتیدها (پلیمرهای کوچک حاصل از به هم پیوستن اسیدهای آمینه با ترتیب مشخص) هستند، پس طبیعتا به نوع ال اسیداسپارتیک نیاز دارند. اگر حتی یک شکست کوچک در نوع ال اسیداسپارتیک پدید آید، آن مولکول بسرعت تبدیل به نوع د خواهد شد و پروتئین سلولی نیز شروع به غیرفعال شدن می کند. لایه تحتانی که نقش مولد دارد، با غیرفعال شدن پروتئین شروع به ساخت پروتئین های دیگری می کند تا جای پروتئین های آسیب دیده را بگیرد. این فرآیند برای میکروب ها نه تنها انرژی بر است، بلکه حتی منابع لازم را از آنها می گیرد.» در بسیاری از محیط های زمینی با توجه به در دسترس بودن منابع کافی آن هم در اطراف، این مساله طبعاً مشکل ساز نخواهد بود، اما برای میکروارگانیسم هایی که در زیرزمین و با وجود فقدان منابع برای بقا در حال جنگی دائمی هستند، قطعا مساله ساز است.

محاسبات کلیدی

به گفته پروفسور اونستوت، پروتئین ها نیمی از بیومس سلولی (ماده آلی مورد استفاده برای تولید انرژی) را تشکیل می دهند. بنابراین جایگزینی پروتئین های غیرفعال مستلزم صرف انرژی زیادی در هر نوع محیط حتی محیط های گرم است. در برخی محیط های خاص نظیر چشمه های آب گرم یا مجراهای دریایی عمیق، جریان انرژی به حدی است که بتواند جبران این شرایط را بکند، اما درباره اکوسیستم های زیرزمینی چنین مساله ای مصداق ندارد. دانشمندان موسسه اختر زیست شناسی ناسا معتقدند سرعت راسمیک شدن را براساس شرایط زیست محیطی می توان تخمین زد، چراکه این سرعت اغلب به درجه حرارت بستگی دارد. در نتیجه برآورد میزان پروتئین های آسیب دیده یک سلول در درازمدت نیز بر این اساس عملی است. حتی دانشمندان معتقدند برآورد میزان انرژی که صرف تجدید پروتئین های آسیب دیده می شود، نیز امکان دارد. مجموع این محاسبات به دانشمندان کمک می کند تا بتوانند حداقل انرژی را که توده های میکروبی برای جایگزین کردن پروتئین های مرده و ادامه بقا لازم دارند، محاسبه کنند.

جاری کردن نور در تاریکی

روش جدیدی که امروز برای ارزیابی امکان بقای میکروبی در بخش های زیرسطحی و عمیق به کار گرفته می شود، به طور مشخص از روش های قدیمی پیشرفته تر است. این مساله هم به این دلیل است که روش های ارزیابی دانشمندان امروز باید

بیشتر منطبق بر واقعیت باشد و طبیعتا فرضیه پردازی در آن کمتر دیده شود. پروفیسور اونستوت می گوید در روش های قدیمی بی اطمینان زیاد بود، چراکه در گذشته دانشمندان نمی توانستند تخمین بزنند دقیقا چه نسبتی از کل جمعیت سلولی زنده است و این مساله طبیعتا عدم قطعیت های دیگری را هم درباره میزان تغییرات بیوژئوشیمیایی، فرآیند اصلی سوخت و ساز، متوسط حجم توده سلولی و میزان رشد به دنبال داشت. این اطلاعات را امروزه می توان به دست آورد، اما این کار مستلزم انجام برنامه های حفاری گرانقیمت یا حداقل دسترسی به تونل های عمیق است که بتوان از طریق آنها هسته میکروارگانیسم ها را مستقیم و بدون هیچ تغییری استخراج کرد. مشکل دیگری که در این زمینه وجود دارد، کوچک بودن حجم نمونه هاست. به گفته برخی دانشمندان ممکن است حجم ناچیز نمونه ها نتواند بیانگر دقیق شرایط محیطی باشد.

پروفیسور اونستوت افزود: «رویکرد فعلی ما مشخصا مبتنی بر اندازه گیری مستقیم زمان مضاعف شدن پروتئین ها و تعیین بیومس یا ماده آلی فعال است. این روش اندازه گیری نه تنها برای محیط های مزوفیلیک (با درجه حرارت متوسط) بلکه حتی برای محیط های با دمای بالا (فوق گرم) نیز کاربرد دارد. این در حالی است که در گذشته تعیین نرخ تغییرات بیوژئوشیمیایی در چنین محیط هایی عملا غیرممکن بود.»

گرمای اعماق

دانشمندان روش جدید را روی نمونه های پلانکتونی میکروسکوپی برداشت شده از شکاف های عمیق بخش های زیرزمینی در آفریقای جنوبی آزمایش کردند.

اسیداسپارتیک موجود در این نمونه ها به شکلی کاملا بارز گرایش به نوع ال داشت و این مساله چنانچه پیش تر به آن اشاره شد، حاکی از حضور حیات میکروسکوپی است. محققین در عین حال متوجه تغییر و تبدیل اسیدهای آمینه در داخل سلول ها شدند و تحقیقات بعدی نشان داد چنین تغییراتی در عمق یک کیلومتری زمین و جایی که دما به 27 درجه سلسیوس می رسد، می تواند قریب 89 سال طول بکشد در حالی که در عمق سه کیلومتری و در درجه حرارت 57 درجه سلسیوس مدت زمان این تغییر کمتر از یک یا دو سال خواهد بود. ارقام به دست آمده در مقایسه با الگوهای بیوژئوشیمیایی، مشخصا زمانی بسیار کوتاه تر را نشان می دهد. این در حالی است که در روش جدید حتی می توان پتانسیل میکروب های ساکن در محیط های فوق گرم (حدود 85 درجه سلسیوس) را نیز برآورد کرد. دکتر اونستوت افزود تحقیقات اخیر نشان می دهد احتمالا میزان بیومس موجودات میکروسکوپی (در اینجا وزن یا جرم موجودات ریز میکروسکوپی در واحد سطح یا حجم) احتمالا بسیار کمتر از میزانی است که پیشتر تصور می شد.»

جمع بندی

باوجود تمام پیشرفت های به دست آمده، دانشمندان اعتقاد دارند سطوح زیرین و گرم زمین کماکان اکوسیستم های رمزآلودی هستند. دانشمندان در حال حاضر صرفا تلاش دارند از نحوه زیست موجودات ریزمیکروسکوپی اطلاعاتی به دست آورند و این در حالی است که دامنه فرضیات روز به روز گسترده تر می شود.

مدل های بیوژئوشیمیایی

از آنجا که کربن یک عنصر حیاتی روی کره زمین است، میکروب ها نیز برای آن که بتوانند تکثیر شوند و میکروب های دیگری تولید کنند، به این عنصر شیمیایی نیاز دارند. میکروب ها کربن را از محیط اطراف می گیرند، اما طبیعتا کربن نیز همچون دیگر منابع در سطوح زیرین زیست کره محدود است و در نتیجه میکروب ها برای برداشت کربن نیازمند صرف انرژی و سوخت و ساز بالایی هستند. یکی از زیربناهای اصلی تحقیقات روی سطوح زیرین زیست کره، استفاده از مدل های بیوژئوشیمیایی به منظور تخمین یا برآورد سرعت سوخت و ساز میکروب هاست. از روی سرعت سوخت و ساز می توان سرعت ساخت ترکیبات کمپلکس از ترکیبات شیمیایی ساده را در بدن میکروب ها تخمین زد. پروفیسور اونستوت افزود: «تعیین سرعت مستقیم آنابولیک یا همان سرعت ساخت ترکیبات کمپلکس از ترکیبات شیمیایی ساده به دو دلیل اهمیت دارد؛ نخست این که این سرعت بیانگر سرعت تقسیم سلولی است و لذا می تواند سرعت تکثیر میکروب ها در زیر زمین را نیز مشخص کند.

دوم این که این سرعت به طور غیرمستقیم به دانشمندان می گوید سرعت سوخت و ساز میکروب ها چقدر است. تعیین سرعت متابولیسم می تواند در مدل های بیوژئوشیمیایی جوابگوی بسیاری از سوالات باشد، اما این مورد آخر را خیلی بسختی می توان در محدوده های سنگی از هم گسیخته تخمین زد.» یک مشکل اساسی دیگر اینجاست که برآورد سرعت ساخت ترکیبات کمپلکس توسط جوامع میکروبی در محیط طبیعی عملا کار بسیار دشواری است. پیشتر دانشمندان صرفا میکروب ها را از محیط اولیه نمونه برداری کرده و سپس در آزمایشگاه کشت می دادند. از آنجا که تحت شرایط آزمایشگاهی امکان زیست برای میکروب ها بیشتر است، پس آنها نیز در آزمایشگاه بسرعت رشد می کنند و تکثیر می شوند و لذا این مساله نمی تواند ارزیابی درستی از وضعیت زیست میکروب ها ارائه دهد، چراکه واقعیت در دنیای طبیعی قطعا با شرایط آزمایشگاهی متفاوت است. پروفیسور اونستوت در تشریح این مساله افزود: «باید بدانید سرعت ساخت ترکیبات کمپلکسی که در آزمایشگاه به دست می آید، قطعا از مقدار واقعی بسیار فراتر است.»

spacedaily / مترجم: فرناز حیدری