جنگ بیولوژیک علیه آلاینده‌ها

لاریسا براس
عضو Oak ridjer
ترجمه‌ی: حسین رزاق پور

برای مدت‌ها، مادر طبیعت [illegible] زدودن انواع آلودگی‌ها بوده است؛ برگ‌های [illegible] برگ‌هایی که در جنگل می‌ریزند، یا جانورانی که آن‌جا می‌میرند، و یا پساب‌های محلی...

اکنون دانشمندان تمام قدرت خود را در جهت کنترل و مهار برخی از آلودگی‌های دولت‌ها به کار گرفته‌اند؛ زباله‌های بسیار سمی که زمین را آلوده کرده‌اند. یکی از پیشرفته‌ترین روش‌ها در این زمینه یکی از ریسه‌های تیمار بیولوژیکی خاک است که [illegible] این اصول استوار بنا شده که می‌گوید: [illegible] حرکتی آلودگی‌ها را برطرف کند. [illegible] منظور ارتقاء [illegible] مقدم شده‌اند و می‌کوشند جلوی گسترش آلودگی‌ها را بگیرند. روش معالجه‌ی بیولوژیکی اکنون به طور مؤثر برای پاک کردن سایت‌های «اداره‌ی دفاع» به کار گرفته می‌شود؛ جایی که مذلول‌ها، روغن‌ها و دیگر آلاینده‌ها رها شده‌اند.

اکنون دانشمندانی که از سوی «اداره‌ی انرژی» مسؤول انجام این کار شده‌اند، به دنبال راه‌هایی برای تهیه‌ی فهرستی از مواد رادیواکتیو و [illegible] مانند: سزیم، کادمیوم، سرب، جیوه، پلوتونیوم، [illegible] استرانسیم و یکسیم هستند.

روش‌های پاکسازی امروزی، روی برداشتن آلودگی از روی زمین متمرکز شده‌اند؛ در برخی موارد، این عمل به میزان کمی امکانپذیر است. با این حال،

دانشمندان برای رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی در نزدیکی مرکز DOE (سازمان انرژی) این تئوری را به طور بالقوه میسر دانسته‌اند.

اما اگر می‌شد میکروارگانیسم‌ها را در خاک و آب رها کرد، می‌توانستیم امیدوار باشیم، مشکلاتی که عصر مدرن ماشینی را به مبارزه طلبیده‌اند، در مقابل حیله‌های طبیعت تسلیم شوند.

اکنون تعداد زیادی از دانشمندان آزمایشگاه ملی «اواکا ریج»[1] درگیر برنامه‌های تحقیقاتی «بازدرمانی زیستی»[2] طبیعی و تسریع شده هستند. محدوده‌ی مطالعات آنان، از تحقیق در مورد چگونگی رفتار خاک و موجودات آن با آلودگی، تا جست‌وجو و تفحص میکروب‌های آنان گسترده است.

راه‌های متعددی برای کمک به پاکسازی آلودگی وجود دارد. روشی که به نام «تحریک زیستی»[3] شناخته می‌شود، شامل افزودن مواد مغذی، اکسیژن یا محصولات دیگر به خاک برای شتاب دادن به فعالیت‌های میکروبی منطقه است.

در روش دیگری که «تقویت زیستی»[4] نامیده می‌شود، میکروارگانیسم‌هایی به خاک افزوده می‌شوند تا آلودگی‌ها را دگرگون کنند و یا کاهش دهند.

دانشمندان هنوز باید مطالب زیادی در مورد میکروب‌های مقیم در خاک بدانند. برای مثال، چه نوع ماده مغذی یا میکروارگانیسم باید به خاک افزوده شود؟ یا میکروارگانیسم‌ها را چگونه می‌توان منتقل کرد؟ و آلودگی‌ها چگونه به این تیمار پاسخ خواهند داد؟ در بسیاری از حالات فوق، یافتن پاسخ نهایی سال‌های متمادی به طول خواهد انجامید. اما دانشمندان مرکز ORNL در بخش آزمایشگاه‌های علوم محیطی امیدوارند که تحقیقات آن‌ها به روش‌های پاکسازی کمک کنند.

راه‌های انتشار

در سال ۱۹۶۰، «سازمان انرژی» توده‌هایی از زباله‌های رادیواکتیو را در استحکامات زیرزمینی تخلیه کرد. مقامات رسمی بر این باور بودند که ویژگی‌های این مواد رادیواکتیو باعث می‌شوند، آن‌ها به سختی به خاک بچسبند و به این ترتیب، جلوی انتشار سریع آلودگی به آب‌های زیرزمینی گرفته خواهد شد. متأسفانه، آن‌ها در اشتباه بودند، این گفته‌ی **اسکات بروکس**، «زی‌زمین‌شیمیست»[5] مرکز ORNL است: «آلودگی خیلی سریع‌تر از حد پیش‌بینی گسترش پیدا کرد و آب‌های زیرزمینی را آلوده نمود.» چگونه براوردها می‌توانند تا این حد اشتباه باشند؟!

بروکس می‌گوید: «قسمتی از پاسخ در این حقیقت نهفته است که بین آن ترکیبات رادیواکتیو، آلاینده‌های آلی نیز وجود داشتند. محققان اکنون می‌دانند که آلودگی‌های آلی که در محاسبات قبلی آن‌ها لحاظ نشده بودند، با مواد رادیواکتیو واکنش می‌دهند و آن‌ها را مجاز می‌سازند که به راحتی در خاک بلغزند و انتشار یابند.»

اکنون بروکس پروژه‌ای را در پیش گرفته تا مطالب بیش‌تری در این مورد بداند: «چگونه این ترکیبات آلوده‌ساز با خاک اطراف خود واکنش می‌دهند؟» او همچنین امیدوار است، ریشه‌های این پتانسیل و واکنش میکروب‌هایی را که ممکن است برای پاکسازی گمارده شوند، درک کند. او می‌گوید: «ما سعی داریم، دانش و یافته‌هایمان را از چگونگی بر هم‌کنش واکنش‌های شیمیایی این سیستم‌ها با میکروبیولوژی توسعه دهیم و تقویت کنیم.»

بروکس و دانشجویانش، به جای آلوده کردن زمین‌های بیش‌تر و تلاش برای مشاهده‌ی نتایج و مقایسه‌ی آن‌ها، شرایط محیط بیرون را به درون آزمایشگاه منتقل کردند. محققان، با استفاده از فشار هیدرولیک، معادل ۸ تا ۱۰ واحد ستون آب و حفارهای خوب، نمونه‌هایی از خاک مناطق گوناگون را که قبلاً تعیین شده بودند، برای مطالعه به آزمایشگاه آوردند. بروکسل می‌گوید: «آنچه که نظر ما را جلب کرد، دیدن ساختار فیزیکی طبیعی قسمت‌های عمقی بود. زیرا رفتار آن‌ها متفاوت از حالتی بود که دسته‌ای از این خاک‌ها را جدا و هموار کنید تا به ابعاد کوچک تبدیل شوند و با آلودگی‌ها واکنش دهند. زمانی که به یک تکه خاک دست نخورده نگاه می‌کنید، جواب‌های متفاوتی را به دست خواهید آورد، تا وقتی که آن را به آزمایشگاه بیاورید و مسطح کنید.»

آن‌ها باید هر یک از ستون‌های خاک را به داخل یک مجرای پمپی بیمارستانی می‌ریختند و در سه مرحله شست‌وشو می‌دادند. ابتدا لازم بود، یک محلول شبه آلودگی‌ها را از داخل خاک عبور دهند و در سمت دیگر ستون خاک جمع کنند. به این منظور، کبالت غیر رادیواکتیو به نمایندگی کبالت ۶۰، که پسمانده‌ای از فعالیت‌های راکتورهای هسته‌ای است، انتخاب شد.

بروکس و دستیارانش آب را به داخل ستون خاک پمپ کردند تا مشاهده کنند، آب چگونه بر انتقال آلودگی‌ها در خاک تأثیر می‌گذارد. او می‌گوید: «ما در این مرحله، آزمون ستون‌های خاک را متوقف، و هسته‌های آن را کالبد شکافی می‌کنیم تا ببینیم،

آلودگی‌ها در چه فاصله‌هایی از ستون خاک چسبیده‌اند و چگونه چسبیده‌اند. می‌خواهیم بدانیم، آیا می‌توانیم از نتایج آن به نفع خود در تعیین راه‌های پاکسازی زمین استفاده کنیم؟»

بروکس همچنین محلول‌هایی را که از سمت دیگر هسته‌های خاک خارج شده بودند، مورد تجزیه و تحلیل قرار داد تا مشخص کند، چه واکنش‌های شیمیایی رخ داده‌اند و چگونه مواد اصلی طی لغزش خود تأثیر می‌پذیرند. برای مثال، نتیجه گرفت که: خاک‌های اسیدی‌تر باعث می‌شوند که آلوده‌کننده‌های سنگین بار تحرک کم‌تری داشته باشند، اما خاک‌هایی با pH بالاتر، این خاصیت را کم‌تر از خود نشان می‌دهند.

اکنون او مراحل تکمیلی پروژه‌ی خود را آغاز کرده است: قرار دادن ستون‌های خاک در معرض میکروارگانیسم‌های آن. محلول‌های میکروبی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که آلوده‌کننده‌های آلی را که اطراف مواد رادیواکتیو و فلزات را پوشانده‌اند، مصرف کنند. بروکس امیدوار است که به این طریق، آن‌ها را تثبیت کند و از تحرک و لغزش آن‌ها به اعماق زمین بکاهد. او می‌گوید: «ما بر این پنداریم که اگر بتوانیم آلوده‌کننده‌های آلی را جدا کنیم، آن‌گاه فلزات و مواد رادیواکتیو دیگر تحرکی نخواهند داشت. سپس ما فرضیه‌ی خود را تحت شرایط متفاوت دیگری مطالعه خواهیم کرد.» چرا که بروکس از پیشینیان خود آموخته است که تکیه بر فرضیه گاه می‌تواند بسیار خطرناک باشد.

مصرف‌کنندگان اورانیوم

اورانیوم قلب سلاح‌های هسته‌ای ایالات متحده را شکل می‌دهد. در نتیجه، این کشور با ریسک بزرگی برای نگهداری توده‌ی عظیمی از آلودگی هسته‌ای روبه‌روست. **تونی پالومبو**[۶] وظیفه دارد، برای اورانیوم یک زوج[۷] میکروبی کامل پیدا کند؛ یک پارازیت کوچک که بتواند فلزات رادیواکتیو را به فرم‌های پایدارتر تبدیل کند و آن‌ها را برای زیست امن‌تر سازد. در حقیقت، پالومبو رویای ایجاد یک زوج میکروبی برای اورانیوم ـ یک میزبان که به عنوان زباله‌دانی برای تجمع سایر فلزات عمل کند ـ را با دستکاری‌های ژنتیکی در سر داشت. اکنون او برای یافتن نمونه‌ی میکروارگانیسم مورد نظر خود طبیعت را جست‌وجو می‌کند.

پالومبو می‌کوشد، میکروارگانیسمی را تکامل دهد که اورانیوم را در حضور اکسیژن پایدار کند.

او می‌گوید: «افراد زیادی تحقیقات خود را روی یافتن ترکیباتی متمرکز کرده‌اند که در شرایط حضور نداشتن اکسیژن در آب‌های زیرزمینی یا سیستم‌های دیگر، فعالیت کنند. این در حالی است که مقادیر زیادی از سرزمین‌های DOE، و یا زمین‌های آلوده به فلزات و مواد رادیواکتیو، در حضور مقادیر زیادی از اکسیژن قرار دارند. پس باید کار خود را از این مناطق شروع کنیم تا بتوانیم، تغییرات معنی‌داری در محیط زیست خود ایجاد کنیم.»

راه حل پالومبو بر پایه‌ی «فسفر آلی» بنا شده است که وقتی به اورانیوم متصل می‌شود، ترکیب معدنی نامحلولی به‌وجود می‌آورد. او می‌گوید: «در حقیقت، ذخایر اورانیوم طبیعی فراوانی وجود دارند که با این ترکیبات فسفری ته‌نشین، و برای سال‌های زیادی پایدار شده‌اند. متأسفانه، ویژگی‌های آلی فسفر که آن را قادر می‌سازند در خاک نفوذ کند، همچنین می‌توانند جلوی عمل فسفر را بگیرند؛ به این ترتیب که ترکیبات فسفری به هرچیزی که در مسیرشان است می‌چسبند. در این جاست که میکروارگانیسم‌ها باید وارد عمل شوند.»

هنگامی که یک فسفر آلی به خاک افزوده می‌شود، توسط یک باکتریوم تعقیب و جذب می‌شود. باکتری می‌تواند قسمت آلی فسفر را بشکند، آن را از حالت ارگانیک خارج کند و به فرم قابل اتصال به اورانیوم تبدیل سازد. پالومبو می‌گوید: «ساده‌ترین راه برای این عمل، دستکاری یک باکتریوم به کمک مهندسی ژنتیکی و ایجاد میل افراطی در آن برای مصرف فسفر است.» این باکتریوم در آب آلوده‌ای که از منطقه‌ی Y-12 واقع در «اواکا ریج» آورده شده بود، یافت شد.

پالومبو و دانشجویانش اکنون در حال آزمایش و به کار بردن میکروب‌های ایجاد شده توسط مهندسی ژنتیک یا GEMS[۸] هستند تا شدت اثر آن‌ها را بر اورانیوم و فلزات دیگر مطالعه کنند. او می‌گوید: «در بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی، در حال استفاده از میکروب‌های مهندسی شده هستیم تا مشخص کنیم، به چه میزان باکتری و چه میزان فسفر نیاز داریم و این که آن‌ها چگونه با خاک Y-12 واکنش می‌دهند.»

اما استفاده از GEMS در عملیات صحرایی توسط DOE (سازمان انرژی) ممنوع اعلام شد و قسمت حساس برنامه ناتمام باقی ماند.

پالومبو می‌گوید: «باید به دنبال نوع طبیعی از باکتری باشیم که همان عمل را برای ما انجام دهد.» او چند سوژه و احتمال قوی در نظر دارد. شاید نتوان ترکیبی یافت که دائماً فسفر را متابولیزه

کند، اما بتوان یک ترکیب شیمیایی را به ترکیبات قبلی افزود که باعث شود، تغییراتی در ژن پدید آید، ولی عواقب ژنتیکی جدیدی به بار نیاورد. او می گوید: «این پروژه به یک تا دو سال تحقیقات آزمایشگاهی، و یک تا دو سال هم تحقیقات میدانی نیاز دارد. فکر می کنیم، چهار تا پنج سال دیگر بتواند، به عنوان یک پروسه‌ی واقعی و کاربردی مورد استفاده قرار گیرد.»

لرزش‌های مناسب

تامی فلپس[9] ایده‌ی جالبی دارد. او بر این باور است که لرزش و تکانه می تواند، به انتقال محلول‌های ارگانیسمی یا مواد مغذی به رسوبات آلودگی ها در اعماق زمین، با سرعت و عمق بیش تری کمک کند تا استفاده از روش‌های سنتی و معمول؛ مانند نیروی جاذبه‌ی زمین و ساختار خاک. این عمل می تواند از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه باشد. او می گوید: «این مسأله باید بررسی شود که ادوات مکانیکی لرزش‌زا تا چه حد می توانند به ما کمک کنند. به این منظور، ابتدا باید به تولید مقادیر زیادی از باکتری‌ها دست بزنیم و آن‌ها را در قسمت زیرسطحی زمین تزریق کنیم و تجمع دهیم.»

او که در آغاز مطمئن نبود، این روش مؤثر باشد، نمونه‌هایی از هسته‌های خاک را از سایتی در ویرجینیا استخراج کرد و به آزمایشگاه انتقال داد. سپس آن‌ها را تحت انواع متفاوتی از لرزش و تکانه قرار داد و به ارزیابی تأثیرشان در انتقال مواد به اعماق خاک پرداخت. فلپس می گوید: «داده‌ها کاملاً نویدبخش بودند و ما اقدام به فاش کردن حق امتیاز این روش کردیم.»

نتایج آزمایشگاهی مشخص کرد که لرزش با فرکانس‌های پایین و به صورت متناوب روی نمونه‌ها، می تواند انتقال مواد را به دفعات افزایش دهد. به کارگیری این روش تفاوت کاملاً معنی داری را در بهبود نتایج نشان می دهد و درها را به روی فناوری جدیدی برای دست یافتن به این هدف می گشاید. اما فلپس معتقد است، تا زمانی که آزمایش‌های صحرایی صورت نگیرند، نمی توان از مؤثر بودن این فناوری مطمئن بود: «ما تاکنون آزمایش خود را عملی نکرده‌ایم. تنها یک آزمایش با طراحی ساده انجام داده‌ایم تا ببینیم، چگونه می توانیم این روش را در منطقه پیاده کنیم. ما باید بتوانیم کار خود را در منطقه‌ای واقعی انجام دهیم.»

اما لرزش چگونه می تواند به افزایش سرعت محلول‌های در حین سیر خود به اعماق کمک کند؟ فلپس می گوید: «این یک سؤال یک میلیون دلاری است! دانشمندان اکنون می دانند که لرزش می تواند به دو طریق به انتقال مواد کمک کند: اول این که شدت جریان محلول‌ها را در زمین افزایش می دهد. دوم این که بر انتشار و پاشش محلول‌ها در خاک اثر می گذارد و به این طریق، باعث انتشار و گسترش آن‌ها می شود.»

«هیپوتز» فلپس را می توان به این صورت خلاصه کرد: لرزش می تواند سبب شود، ذرات خاک جابه‌جا شوند و مسیرهای تازه‌ای برای سیالات پدید آیند. این مراحل همچنین می توانند، پدیده‌ی نادر و عجیب دیگری را که او کشف کرده است، توضیح دهند. هنگامی که نمونه‌های خاک در طول دوره‌های متناوب لرزانده می شوند، جریانات بین هسته‌های خاک که در ابتدا سرعت گرفته‌اند، ناگهان کاهش می یابند و در حفره‌هایی که توسط لرزش‌ها ایجاد شده‌اند، ته‌نشین می شوند. او می گوید: «این طور به نظر می رسد که ذرات ریز مورد نظر ما با کمک فشار لرزش، فضاهای بین ذرات را باز و پر می کنند. در پایان، همه چیز ته‌نشین و ساکن می شود و دقیقاً آنچه که انتظار داریم، اتفاق می افتد.»

از این فناوری ابتدا می توان برای توده‌ی آلاینده‌ی نزدیک سطح خاک استفاده کرد. صنایع نفت، مقادیری از تجهیزات لرزه‌سازی را تدارک دیده‌اند تا فلپس کار لرزه‌سازی را برای پاکسازی واقعی قسمتی از محیط زیست به اجرا درآورد. او امیدوار است، با کمک کامیون‌های ساده‌ای که به لوازم مناسب تجهیز شده‌اند، زمین‌های نزدیک سایت را سوراخ کند و میکروارگانیسم‌ها را در مسیر خود به پیش براند: «حقیقتاً باید گفت که این کاری دشوار است، اما اگر حتی چند نقطه‌ی قوت هم داشته باشد، بسیار عالی خواهد بود.»

* کارشناس زیست شناسی

زیرنویس

1. Oak Ridge
2. Bioremediation
3. Biostimulation
4. Bioaugmentation
5. Biogeochemist
6. Tony Palumbo
7. Mate

(با همان میکروب‌های دستکاری شده به کمک مهندسی ژنتیک)

8. Genetically engineered microbes
9. Tommy Phelps

منبع

The Oak Ridger Online - Area News - Biological War on Waste.