



از هوا تا سنگ: درختان انجیر در مبارزه با تغییرات اقلیمی

مترجم: ایوب رضایی مطلق*

از این مکانیسم ویژه بهره می‌برند (مسیر زیستی اگزالات-کربنات دارند و بلورهای ریز اگزالات کلسیم را تولید می‌کنند). این پژوهش که توسط گروهی از دانشمندان کنیایی، آمریکایی، اتریشی و سوئیسی انجام شده، در کنفرانس ژئوشیمی گلداسمیت (Goldschmidt) در پراگ ارائه شده است.

مسیر اگزالات-کربنات: مکانیسمی پنهان برای ذخیره‌سازی کربن همه درختان از طریق فتوسنتز، CO_2 موجود در تنه، شاخه‌ها، ریشه‌ها و برگ‌ها را به کربن آلی تبدیل می‌کنند، به همین دلیل کاشت درختان به عنوان ابزاری بالقوه برای کاهش انتشار CO_2 در نظر گرفته می‌شود. اما درختان انجیر کنیایی یک قدم فراتر می‌روند، آنها از دی‌اکسیدکربن برای تولید بلورهای ریز اگزالات کلسیم استفاده می‌کنند. وقتی بخش‌هایی از درخت، مانند برگ‌ها، شاخه‌ها یا ریشه‌های کوچک می‌میرند و به خاک باز می‌گردند، میکروب‌ها و قارچ‌های موجود در خاک وارد عمل می‌شوند. این موجودات ریز، بلورهای اگزالات کلسیم

درختان انجیر کنیایی یا به‌طور خاص تر *Ficus wakefieldii* می‌توانند به معنای واقعی کلمه، بخش‌هایی از خود را به سنگ تبدیل کنند. این درخت با استفاده از باکتری‌ها و قارچ‌های خاص، کریستال‌های داخلی درخت را به رسوباتی شبیه به سنگ آهک تبدیل می‌کند که سبب ترسیب دی‌اکسیدکربن (CO_2) و افزایش pH خاک‌های اطراف می‌شود. این درخت همچنین، توانایی تولید میوه دارد که امروزه به عنوان یک سلاح جدید خوشمزه در مبارزه با تغییرات اقلیمی معرفی شده است.

پژوهش جدیدی نشان می‌دهد، برخی درختان انجیر در کنیا توانایی خارق‌العاده‌ای دارند، آنها می‌توانند دی‌اکسیدکربن (CO_2) را از هوا جذب و با استفاده از فرایندهای بیوشیمیایی پیچیده، آن را به کربنات کلسیم (ماده‌ای که سنگ آهک از آن تشکیل شده است) تبدیل کنند. این ماده به صورت سنگ‌ریزه یا ساختارهای معدنی کوچک، درون تنه درخت، همچنین در خاک اطراف آن ذخیره می‌شود. این درختان، بومی کشور کنیا و جزو نخستین گونه‌های درختی میوه‌داری هستند که



درخت انجیر کنیایی (*Ficus wakefieldii*)

را تجزیه و آنها را به کربنات کلسیم پایدار تبدیل می‌کنند (همان ماده معدنی سنگ آهک). این ماده معدنی نه تنها کربن را برای مدت‌ها، طولانی‌تر از مواد آلی ذخیره می‌کند، بلکه خاک اطراف درخت را نیز قلیایی و غنی‌تر از مواد مغذی می‌سازد. کربن معدنی موجود در کربنات کلسیم معمولاً طول عمر بسیار طولانی‌تری نسبت به کربن آلی در خاک دارد و آن را به روشی مؤثرتر برای ذخیره‌سازی CO₂ تبدیل می‌کند.

دکتر مایک رولی (Mike Rowley)، استاد ارشد دانشگاه زوریخ (UZH) و ارائه‌دهنده این پژوهش در کنفرانس گلداسمیت، می‌گوید: ما از مدت‌ها قبل از مسیر زیستی اگزالات-کربنات (Oxalate-Carbonate Pathway) اطلاع داشتیم، اما پتانسیل آن برای ذخیره کربن به‌طور کامل بررسی نشده بود. ما می‌توانیم درختانی را برای زراعت چوب انتخاب کنیم که هم‌زمان با تولید غذا، دی‌اکسیدکربن را به‌صورت کربن آلی ذخیره کنند و با تشکیل کربنات کلسیم، مزیت اضافه‌ای نیز در ذخیره کربن معدنی داشته باشند. این مسیر ناشناخته کربن، که پیش‌ازاین بیشتر در درختان غیرمثمر مطالعه شده بود، می‌تواند ابزاری طبیعی و قدرتمند در مبارزه با تغییرات آب‌وهوایی باشد، به‌ویژه اگر از طریق زراعت چوب گسترش یابد.

تحلیل‌های سینکروترون (synchrotron) و نقش میکروپها در جریان این پژوهش‌ها، یک گروه متشکل از محققان دانشگاه زوریخ، دانشگاه فنی نایروبی کنیا، سازمان سادهانا فارست (Sadhana For-est)، آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، دانشگاه کالیفرنیا دیویس و دانشگاه نوشاتل (Neuchatel)، سه گونه درخت انجیر را در منطقه سامبوروی (Samburu) کنیا مطالعه کردند. آنها محدوده تشکیل کربنات کلسیم و جامعه میکروبی دخیل در این فرایند را شناسایی کردند و با استفاده از تحلیل سینکروترون در مرکز پرتوشناسی سینکروترون استنفورد، دریافتند که کربنات کلسیم هم روی سطح خارجی تنه و هم در اعماق چوب تشکیل می‌شود.

دکتر رولی در این باره توضیح داد: هم‌زمان با تشکیل کربنات کلسیم، خاک اطراف درخت قلیایی‌تر می‌شود. این ماده هم روی سطح درخت و هم در ساختارهای داخلی چوب تشکیل می‌شود، احتمالاً چون میکروارگانیزم‌ها بلورهای سطحی را تجزیه و به اعماق درخت نفوذ می‌کنند. این نشان می‌دهد، کربن معدنی در عمق بیشتری از چوب نسبت به آنچه پیش‌تر تصور می‌کردیم، تثبیت می‌شود.

انتخاب بهترین گونه گیاهی و برنامه‌های آینده

از میان سه گونه انجیر مورد مطالعه، گونه فیکوس ویکفیلدی (Ficus wakefieldii)، بیشترین کارایی را در ذخیره دی‌اکسیدکربن به‌صورت کربنات کلسیم داشت. پژوهشگران در این مرحله قصد دارند با بررسی نیاز آبی، میزان تولید میوه و تحلیل دقیق‌تر ظرفیت ذخیره دی‌اکسیدکربن در شرایط مختلف، امکان استفاده از این درخت را در

کشاورزی جنگلی ارزیابی کنند.

کشاورزی جنگلی و پتانسیل جهانی

تاکنون بیشتر تحقیقات درباره مسیر اگزالات-کربنات در زیستگاه‌های گرمسیری و روی درختان غیرمثمر متمرکز بوده است. اولین درختی که به‌عنوان گونه‌ای با این توانایی شناسایی شد، درخت ایروکو (Milicia excelsa) بود که می‌تواند در طول عمر خود یک تن کربنات کلسیم در خاک ذخیره کند. بلورهای اگزالات کلسیم، که یکی از فراوان‌ترین مواد معدنی زیستی است، توسط بسیاری از گیاهان تولید می‌شود و میکروارگانیزم‌های تبدیل‌کننده آن به کربنات کلسیم نیز به‌صورت گسترده در طبیعت وجود دارند.

گامی به سوی یک راه‌حل جهانی

دکتر رولی در ادامه توضیحات خود گفت: اگرچه شناسایی کربنات کلسیم در محیط‌های خشک آسان‌تر است، اما حتی در مناطق مرطوب نیز کربن همچنان امکان ذخیره‌سازی دارد. تاکنون گونه‌های متعددی از درختان با این توانایی شناسایی شده‌اند، اما معتقدیم تعداد واقعی بسیار بیشتر است، این یعنی مسیر اگزالات-کربنات می‌تواند فرصتی مهم و کم‌موردتوجه برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن باشد، به‌ویژه وقتی درختان را برای مصارف جنگلی یا میوه‌دهی می‌کاریم. کنفرانس ژئوشیمی گلداسمیت، مهم‌ترین کنفرانس ژئوشیمی جهان است. این کنگره مشترک انجمن اروپایی ژئوشیمی و انجمن ژئوشیمی (ایالات متحده) است، این کنفرانس ۶ تا ۱۱ ژوئیه ۲۰۲۵ در پراگ، جمهوری چک برگزار شد.

دبیر تخصصی اخبار علمی تحلیلی: همان‌طور که در برخی اخبار گذشته نشریه اشاره شد، گیاهان منتظر نیستند تا ببینند انسان چگونه به مقابله با تغییرات اقلیمی برخوادخواست. به شکل‌های مختلف می‌کوشند تا خود را برای این جهان حفظ کنند. ما از سازوکارهای شگفت‌انگیز آنها کمتر خبر داریم. پژوهش‌هایی از این نوع می‌تواند بسیار امیدبخش و راه‌گشا باشد. باید یادآوری کرد که این گونه‌های درختی برای رویشگاه‌هایی با اسیدیته کم بسیار مفید خواهند بود. در ایران خاک بسیار از رویشگاه‌ها قلیایی است و نمی‌توان از چنین فرایندی برای این مکان‌ها استفاده کرد.

Journal Reference:

European Association of Geochemistry. "From air to stone: The fig trees fighting climate change." ScienceDaily. ScienceDaily, 6 July 2025.

www.sciencedaily.com/releases/2025/07/250706225819.htm